

DERWENT-ACC-NO: 2002-406790  
DERWENT-WEEK: 200244  
COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Blind bore generation method for printed wiring board involves using two laser beams for drilling hole on wiring board and removing remaining layer of resin layer respectively

INVENTOR: ARAI, K; ISHII, K ; KITA, Y

PATENT-ASSIGNEE: HITACHI VIA MECHANICS LTD[HITAN], HITACHI SEIKO KK[HITS]

PRIORITY-DATA: 2001JP-0138204 (May 9, 2001) , 2000JP-0308355 (October 6, 2000)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE	PAGES	MAIN-IPC
DE 10149559 A1	April 11, 2002	N/A	029	B23K 026/38
US 20020040893 A1	April 11, 2002	N/A	000	B23K 026/38
	April 19, 2002	N/A	021	H05K 003/00
JP 2002118344 A				

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO	APPL-DATE
DE 10149559A1	N/A	2001DE-1049559	October 8, 2001
US20020040893A	N/A	2001US-0970909	October 5, 2001
1	N/A	2000JP-0308355	October 6, 2000
JP2002118344A			

INT-CL (IPC): B23K026/00; B23K026/06 ; B23K026/38 ; B23K026/67 ; B23K101:42 ; H05K003/00 ; H05K003/40

ABSTRACTED-PUB-NO: DE 10149559A

BASIC-ABSTRACT: NOVELTY - The method involves applying a first UV laser beam

(2i) and/or infrared laser beam for drilling a hole on the wiring board until the remaining layer of the resin layer, which is in contact with the inner conductive layer, is reached. A second UV laser beam (2k) is applied having an energy density higher than the threshold of the decay energy of the resin layer

and lower than the threshold of the decay energy of the inner conductive layer for removing the remaining layer.

DETAILED DESCRIPTION - INDEPENDENT CLAIMS are included for apparatus for processing the wiring board with one and two laser heads respectively.

USE - For wiring boards for forming connections between conductive layers.

ADVANTAGE - Allows drilling of bores without requiring chemical process for removing residue. Does not damage substrate surface.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The drawing shows a schematic diagram of a laser processing system.

Laser beams 2i,k

ABSTRACTED-PUB-NO: US20020040893A

EQUIVALENT-ABSTRACTS: NOVELTY - The method involves applying a first UV laser

beam (2i) and/or infrared laser beam for drilling a hole on the wiring board until the remaining layer of the resin layer, which is in contact with the inner conductive layer, is reached. A second UV laser beam (2k) is applied having an energy density higher than the threshold of the decay energy of the resin layer and lower than the threshold of the decay energy of the inner conductive layer for removing the remaining layer.

DETAILED DESCRIPTION - INDEPENDENT CLAIMS are included for apparatus for processing the wiring board with one and two laser heads respectively.

USE - For wiring boards for forming connections between conductive layers.

ADVANTAGE - Allows drilling of bores without requiring chemical process for removing residue. Does not damage substrate surface.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The drawing shows a schematic diagram of a laser processing system.

Laser beams 2i,k

CHOSEN-DRAWING: Dwg.1/18

TITLE-TERMS:

BLIND BORE GENERATE METHOD PRINT WIRE BOARD TWO LASER BEAM  
DRILL HOLE WIRE  
BOARD REMOVE REMAINING LAYER RESIN LAYER RESPECTIVE

DERWENT-CLASS: P55 V04 X24

EPI-CODES: V04-R08; X24-D03B;

SECONDARY-ACC-NO:

Non-CPI Secondary Accession Numbers: N2002-319394



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Off nl ungungsschrift  
⑩ DE 101 49 559 A 1

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
B 23 K 26/38  
H 05 K 3/40

②1 Aktenzeichen: 101 49 559.5  
②2 Anmeldetag: 8. 10. 2001  
④3 Offenlegungstag: 11. 4. 2002

DE 101 49 559 A 1

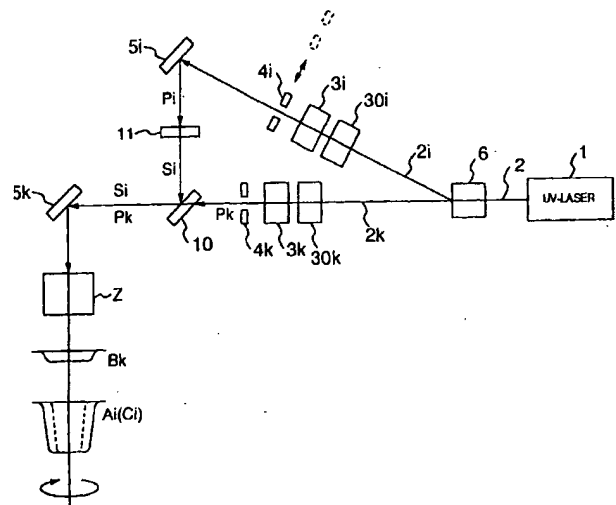
③0 Unionspriorität:  
2000-308355 06. 10. 2000 JP  
2001-138204 09. 05. 2001 JP  
⑦1 Anmelder:  
Hitachi Via Mechanics,Ltd., Ebina, Kanagawa, JP  
⑦4 Vertreter:  
Beetz & Partner, 80538 München

⑦2 Erfinder:  
Arai, Kunio, Ebina, Kanagawa, JP; Ishii, Kazuhisa,  
Ebina, Kanagawa, JP; Kita, Yasuhiko, Ebina,  
Kanagawa, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zum Bohren gedruckter Verdrahtungsplatten

⑤7 Die vorliegende Erfindung betrifft ein verbessertes Verfahren und eine verbesserte Vorrichtung zum Bohren blinder Bohrungen zum Herstellen einer Verbindung zwischen oberen leitfähigen Schichten und unteren leitfähigen Schichten gedruckter Verdrahtungsplatten durch Laserlicht. Die mit der Zielleiterschicht in Kontakt stehende Harzschicht wird mit Laserlicht so gebohrt, daß eine Restschicht verbleibt, und die Restschicht wird durch einen UV-Laserstrahl entfernt, dessen Energiedichte geringer als der Schwellenwert der Zerfallsenergie der leitfähigen Schicht und höher als der der Harzschicht ist. Die Vorrichtung für ein derartiges Bohren weist mindestens zwei Laserpfade auf. Die räumlichen Energieverteilungen werden durch Strahlenhomogenisierungseinheiten in den Pfaden haubenförmig eingestellt, und die Durchmesser und die Energiedichten werden unabhängig eingestellt. Überdies sind die Pfade zur Verkürzung der Bearbeitungszeit in der Nähe der Oberfläche eines Substrats an einer gemeinsamen Achse ausgerichtet.



DE 101 49 559 A 1

## TECHNISCHER BEREICH DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung betrifft ein verbessertes Verfahren und eine verbesserte Vorrichtung zum Bohren gedruckter Verdrahtungsplatten mit Laserlicht. Insbesondere betrifft sie das Bohren blinder Bohrungen zum Herstellen einer Verbindung zwischen oberen leitfähigen Schichten und unteren leitfähigen Schichten.

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0002] Fig. 17 zeigt ein Diagramm eines herkömmlichen optischen Systems zum Bohren mit Laserlicht. Bei diesem Laserbohrsystem wird ein von einem Laserkopf 1 emittierter Laserstrahl 2 durch einen Kollimator gebündelt und vergrößert oder verkleinert und dann zum Bohren durch eine Öffnung 4 auf einen geeigneten Durchmesser gebracht. Der geformte Laserstrahl 2 wird durch einen Eckspiegel 5 und einen Spiegel 14 in einem Bearbeitungskopf Z und dann durch zwei Galvanometerspiegel 15<sub>a</sub>, 15<sub>b</sub> auf eine f- $\theta$ -Linse 16 reflektiert. Der Laserstrahl 2 wird durch die Galvanometerspiegel 15<sub>a</sub>, 15<sub>b</sub> positioniert und trifft durch die f- $\theta$ -Linse vertikal auf einer Bearbeitungsoberfläche auf. Die Bearbeitung wird an jedem durch die Größe der f- $\theta$ -Linse 16 definierten Bearbeitungsbereich 18 ausgeführt, und der Bereich wird durch eine (nicht dargestellte) X-Y-Tabelle nacheinander von 18<sub>1</sub> nach 18<sub>N</sub> bewegt.

[0003] Fig. 18 zeigt die Wirkungen des Kollimators 3 und der Öffnung 4. Die Diagramme im unteren Teil dieser Figur zeigen Verteilungsbeziehungen zwischen der Laserlichtenergie (Ordinate) und radialen Positionen im Laserstrahl (Abszisse). Da die räumliche Energieverteilung am Ausgangsfenster des Laserkopfs 1 im allgemeinen eine Gauss'sche Verteilung ist, ist die räumliche Energieverteilung des den Kollimator 3 durchlaufenden Laserstrahls ebenfalls eine Gauss'sche Verteilung. Die Größe des Laserstrahls kann durch Vergrößerungen (Vergrößerungsverhältnisse oder Verkleinerungsverhältnisse) des Kollimators 3 verändert werden. Dies bedeutet, daß der Durchmesser des Laserstrahls klein wird und die räumliche Energieverteilung ein hohes Energiedichteprofil (oder Leistungsdichteprofil) mit der in Fig. 18a gezeigten "Verteilung a" (gestrichelte Linie) aufweist, wenn die Vergrößerung gering ist, und daß der Durchmesser des Laserstrahls groß wird und die räumliche Energieverteilung ein niedriges Energiedichteprofil (oder Leistungsdichteprofil) mit der in Fig. 18a gezeigten "Verteilung b" (gestrichelte Linie) aufweist, wenn die Vergrößerung stark ist.

[0004] Insbesondere kann bei einem größeren Durchmesser der Öffnung 4 der Boden einer erzeugten Bohrung (d. h. die Oberfläche einer inneren leitfähigen Schicht) beschädigt werden, da die Energie in der Mitte konzentriert ist. Daher wird eine "Verteilung A" (durchgehende Linie) oder eine "Verteilung B" (durchgehende Linie) eingestellt, um Beschädigungen durch Herausschneiden eines mittleren Teils des Strahls, der ein verhältnismäßig homogener Teil der Energieverteilung ist, mittels der geeigneten Öffnung 4 zu vermeiden. Im folgenden wird eine vollständige räumliche Energieverteilung, die durch Entfernen der Öffnung 4 aus dem optischen Pfad erhalten wird, als "Verteilung C" bezeichnet.

[0005] Fig. 18b zeigt andererseits eine räumliche Energieverteilung bei der Verwendung einer Strahlenhomogenisiervorrichtung 30 im optischen Pfad. Die räumliche Energieverteilung wird durch die Strahlenhomogenisiervorrichtung 30 in Rechteckform gebracht, durch den Kollimator 3 ver-

kleinert oder vergrößert ("Verteilung a" (gestrichelte Linie) oder "Verteilung b" (gestrichelte Linie) gemäß Fig. 18b), dann mit einer Öffnung 4 herausgeschnitten und hochgradig homogenisiert ("Verteilung A" (durchgehende Linie) oder "Verteilung B" (durchgehende Linie) gemäß Fig. 18b). Im folgenden werden diese rechteckigen Verteilungen als "haubenförmige" Verteilungen bezeichnet, und eine durch Entfernen der Öffnung 4 aus dem optischen Pfad mit der Strahlenhomogenisiervorrichtung 30 erhaltene vollständige, räumliche Energieverteilung wird als "Verteilung C" bezeichnet. Als Strahlenhomogenisiervorrichtung 30 können verschiedene im Handel erhältliche Produkte, wie ein asphärisches Linsensystem oder ein diffraktives optisches System, verwendet werden.

[0006] Typische Konstruktionen von gedruckten Verdrahtungsplatten sind ein "Glas enthaltendes Substrat" (ein FR-4-Substrat), das ein geschichtetes Substrat aus einer Schicht bzw. Schichten aus einem Leiter und einer Schicht oder Schichten aus einem Glasfasern enthaltenden Harz ist, die abwechselnd angeordnet sind, und dessen Oberflächenschicht eine leitfähige Schicht ist, ein "RCC-Substrat", das ein geschichtetes Substrat aus einer Schicht bzw. Schichten aus einem Leiter und einer Schicht oder Schichten aus Harz ist, die abwechselnd angeordnet sind, und dessen Oberflächenschicht eine leitfähige Schicht ist, und ein "Direktharzsubstrat", dessen leitfähige Schicht mit einer Harzschicht überzogen ist. Als Harz werden hauptsächlich Epoxid oder Polyimid verwendet. Statt Glasfasern werden gelegentlich Keramikmaterialien verwendet, um die Harzschicht zu verstärken.

[0007] Die folgenden Bohrverfahren mit einem CO<sub>2</sub>-Laser mit einer Wellenlänge von 10,6  $\mu$ m sind allgemein bekannt. Ein "CO<sub>2</sub>-Direktharzverfahren" bezeichnetes Verfahren zur Erzeugung einer blinden Bohrung in der Harzschicht eines Direktharzsubstrats wurde in "GENERATING SMALL HOLES FOR IBMs NEW LSI PACKAGE DESIGN" in "IPC Technical Review", Seiten 12-15, April 1982 offenbart und in der Praxis angewendet. Ein Verfahren zur Erzeugung einer blinden Bohrung in der Harzschicht eines Glas enthaltenden Substrats mit einem CO<sub>2</sub>-Laser nach der vorherigen Erzeugung eines Fensters durch chemisches Ätzen oder Bohren wurde in der japanischen Veröffentlichung Nr. 58-64097 JP A1 und dem US-Patent Nr. 5,010,232 offenbart.

[0008] Überdies wurde in der japanischen Veröffentlichung Nr. 01-266983 JP A1 ein Verfahren zum Bohren von Durchgangsbohrungen oder blinden Bohrungen in einem geschichteten Substrat aus mehreren abwechselnd angeordneten leitfähigen und Harzschichten offenbart. Hierbei handelt es sich um einen Prozeß zur Erzeugung eines Fensters in einer leitfähigen Schicht durch eine wiederholte kreisförmige Bearbeitung (anders ausgedrückt durch "Hohlbohren") mit ultravioletem Laserlicht ("UV-Laserlicht"), durch das Metalle effizient entfernt werden können, und Bohren einer Harzschicht mit CO<sub>2</sub>-Laserlicht.

[0009] Es ist jedoch bekannt, daß nach dem CO<sub>2</sub>-Laserbohren eine (als "Smear" bzw. "Rückstand" bezeichnete) dünne Restharzschicht mit einer Dicke ( $t_c$ ) im Bereich von 0,2-3  $\mu$ m auf dem Boden der Bohrung, anders ausgedrückt, unmittelbar auf der leitfähigen Schicht, verbleibt. Überdies haben wir herausgefunden, daß die Dicke  $t_c$  selbst dann nicht verändert werden kann, wenn die Energiedichten oder die Anzahl der abgegebenen CO<sub>2</sub>-Laserimpulse unterschiedlich verändert werden.

[0010] Das Folgende sind unsere Spekulationen bezüglich einer Ursache des Verbleibs. Das CO<sub>2</sub>-Laserbohren ist ein Verfahren, bei dem der thermische Zerfall der Harzschicht bei einer durch die Absorption des Infrarotlaserlichts gesteig-

gerten Temperatur genutzt wird. Da die Wärmeleitfähigkeit der beispielsweise aus Kupfer bestehenden (inneren) leitfähigen Schicht 1000 Mal höher als die der Harzschicht ist, beginnt daher die Wärmeenergie in die innere leitfähige Schicht zu fließen, wenn die Harzschicht dünn wird. Daher kann die Temperatur der Harzschicht bei einer dünnen Restschicht nicht auf die Zerfallstemperatur ansteigen, und dementsprechend verbleibt die Restschicht mit einer Dicke von 0,2–3  $\mu\text{m}$ .

[0011] Wenn die Schicht verbleibt, ist ein chemischer Prozeß zur Entfernung des Rückstands zum Entfernen der Restschicht unverzichtbar, der Schritte zum Vorbehandeln, Spülen, Kochen, Kühlen, Spülen, Aufquellen, Spülen, Entfernen des Rückstands durch Oxidation, Spülen, Neutralisieren, Spülen, Trocknen, etc. umfaßt. Bei diesem chemischen Prozeß zur Entfernung des Rückstands ist die Benetzbarkeit in den Bohrungen bei Bohrungsdurchmessern von weniger als 100  $\mu\text{m}$  gering, d. h. die Flüssigkeit zur Entfernung des Rückstands kann nur schwer tief in die Bohrungen gelangen, und dadurch wird die Zuverlässigkeit des Prozesses verringert. Überdies tritt das Problem auf, daß die Durchmesser der Bohrungen beim Bohren mit einem  $\text{CO}_2$ -Laser normalerweise maximal 10  $\mu\text{m}$  größer werden, da die Seiten der Bohrungen durch die Flüssigkeit zur Entfernung des Rückstands ebenfalls um 3–5  $\mu\text{m}$  abgetragen werden, obwohl der Zweck des Prozesses zur Entfernung des Rückstands das Entfernen der Restschicht auf dem Boden ist.

[0012] Andererseits wurde in "Excimer Lasers: An Emerging Technology in the Electronics Industry" im "IPC Technical Review", Seiten 16–20, November 1987 ein als "UV-Direktharzverfahren" bezeichnetes Verfahren zur Erzeugung einer blinden Bohrung in der Harzschicht eines Direktharzsubstrats mit einem UV-Laser offenbart und in der Praxis eingesetzt. Ein Verfahren zur Erzeugung einer Bohrung in einem geschichteten Substrat aus leitfähigen Schichten und Harzschichten nur mit einem UV-Laser wurde im US-Patent Nr. 5,593,606 offenbart.

[0013] Bei dem UV-Laser, der sich von dem  $\text{CO}_2$ -Laserverfahren unterscheidet, existiert keine Restschicht auf den Böden von Bohrungen. Wird jedoch genug Energie zum Erhalt einer praktischen Bearbeitungsgeschwindigkeit verwendet, wird die Oberfläche der leitfähigen Schicht auch durch die überschüssige Energie geglättet, und die auf der Platte fest ausgebildete Oberflächenrauigkeit wird geschmolzen und zu einer gleichförmigen Oberfläche zersetzt. Insbesondere bei der Verwendung eines UV-Lasers mit Wellenlängenumwandlung, dessen Wellenlänge durch ein nicht lineares optisches Element umgewandelt wird, und dergleichen, wird die Oberfläche der untersten leitfähigen Schicht leicht beschädigt, da es schwierig ist, die Impulsenergie bei der Verarbeitung zu verändern und die Variation der Dicke der Harzschichten im Vergleich zur Dicke der Harzschicht von 65  $\mu\text{m}$  eine Größe von 20  $\mu\text{m}$  aufweist. Da die Lichtenergie, die den Boden der Durchgangsbohrung erreicht, überdies gesteigert wird, wenn der Energieabsorptionskoeffizient der Harzschicht gering ist, wird die gespeicherte Lichtenergie unmittelbar über der leitfähigen Schicht gesteigert. Da das Harz auf dem Boden einer Durchgangsbohrung durch die gespeicherte Energie abgebaut und verdampft wird, wird daher die Harzschicht auf der Bodenkante durch die Dampfenergie abgeschält. Diese Schäden können durch Verringern der Lichtimpulsenergie vermieden werden, doch die Verarbeitungsgeschwindigkeit wird verringert, da die Anzahl der abgegebenen Impulse gesteigert werden muß.

[0014] Bei der Verarbeitung eines Glas enthaltenden Substrats mit einem UV-Laser wird nicht nur die Oberfläche der leitfähigen Schicht durch die überschüssige Energie geglättet, sondern es wird auch die Seitenwand der Durchgangs-

bohrung in eine Faßform gebracht, und die Glasfasern stehen vor.

[0015] Folgendes sind unsere Spekulationen bezüglich einer Ursache der überschüssigen Energie. Die Energieabsorptionskoeffizienten bei einer Wellenlänge von 355 nm im UV-Lichtbereich sind wie folgt: Epoxid: 30–80%, Kupfer: über 70–75%, Glas: ca. 20%. Die Wärmeleitungskoeffizienten sind wie folgt: Epoxid: 0,8–0,85  $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , Kupfer: 386  $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , Glas: 1,04–1,09  $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Diese Daten zeigen die sehr großen Unterschiede zwischen den Materialien. Da ca. 80% der aufgetragenen Laserenergie in der Durchgangsbohrung gespeichert werden, indem sie reflektiert oder gestreut werden, wird daher insbesondere bei Impulsperioden von weniger als 3,3 ms (bei Impulswiederholungsraten von mehr als 3 kHz) die Harzseitenwand der Durchgangsbohrung wie ein Faß aufgewölbt, und die Glasfasern ragen vor, wodurch die Zuverlässigkeit des Prozesses verschlechtert wird.

[0016] Da überdies die Laserverarbeitungsenergie beim Bohren in der leitfähigen Schicht selbst bei einem RCC-Substrat, dessen Harzschicht keine Glasfasern enthält, höher als 3  $\text{J/cm}^2$  ist, erschweren die Unterschiede zwischen den Materialeigenschaften bei UV-Licht die Steuerung der Wärmebedingungen, und die Bodenfläche der leitfähigen Schicht wird beschädigt. Daher ist es schwierig, eine praxistaugliche Qualität der Bohrungen zu erzielen.

[0017] Da die räumliche Energieverteilung des UV-Laserstrahls, wie in Fig. 18a gezeigt, die Verteilung A' oder C ist, wird zudem eine Rauigkeit auf dem Boden erzeugt, und die zur Entfernung der Restschicht erforderliche Zeit wird länger oder die Bodenfläche der leitfähigen Schicht wird teilweise beschädigt.

[0018] Ein Verfahren zum Verhindern der Beschädigung der Bodenfläche der leitfähigen Schicht ist beispielsweise in "Laser Ablation to sono-ouyoh", Corona Publishing Co., Ltd., 1999, S. 146, 11.6–13 offenbart, die ein selektives Ätzverfahren für die Harzschicht durch Einstellen der Energiedichte des Laserlichts für die Bearbeitung auf einen höheren Wert als den Schwellenwert der Zerfallsenergie der Harzschicht und einen niedrigeren Wert als den Schwellenwert der Zerfallsenergie der leitfähigen Schicht aufzeigt.

[0019] Hierbei ist der Schwellenwert der Zerfallsenergie die Energiedichte des aufgetragenen Laserlichts, die zum Einleiten eines Ablationsprozesses erforderlich ist, der ein Zerfalls-, Schmelz- oder Verdampfungsprozeß durch Laserlicht ist. Die Energiedichte des aufgetragenen Laserlichts ist ein Produkt der aufgetragenen Leistungsdichte und der (als Fluenz bezeichneten) Impulsbreite.

[0020] Andererseits wurde in dem japanischen Patent Nr. 2983481 ein Reinigungsverfahren zum Entfernen der Restmaterialien bzw. des Rückstands aus den Böden und der Umgebung der Bohrungen in einem weiten Bereich durch weitgehendes Homogenisieren eines Excimer-Laserstrahls mit einer zeilenförmigen oder quadratischen Verteilung durch eine Strahlenhomogenisiervorrichtung offenbart. Wird dieses Verfahren jedoch auf ein Direktharzsubstrat angewendet, dessen Oberflächenschicht eine Harzschicht ist, wird die Oberfläche der Harzschicht beschädigt.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0021] Die erste Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zum Bohren gedruckter Verdrahtungsplatten ohne einen chemischen Prozeß zur Entfernung des Rückstands durch selektives Wegätzen der Restschicht mit Laserlicht zu schaffen, das durch Messen und Nutzung der tatsächlichen Differenz zwischen den Schwellenwerten der Zerfallsenergie von Harzen und Leitern erfolgt.

[0022] Die zweite Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum Bohren eines Substrats mit einer Oberflächenschicht aus Harz zu schaffen, bei dem die Oberfläche nicht beschädigt wird.

[0023] Die dritte Aufgabe der Erfindung ist es, ein zum Bohren von Bohrungen und zum Entfernen der Restschichten durch Verändern der Energiedichten von Lasern und der Wellenlängen geeignetes System zu schaffen.

[0024] Wir haben festgestellt, daß die erste Aufgabe gelöst werden kann, indem die Harzschicht, die mit der anvisierten leitenden Schicht in Kontakt steht, mit einem ersten Laserstrahl, dessen Energiedichte höher als der Schwellenwert der Zerfallsenergie der leitenden Schicht ist und dessen räumliche Energieverteilung eine Haubenform, so gebohrt wird, daß die Restschicht so homogen wie möglich bleibt, und die Restschicht mit einem zweiten UV-Laserstrahl entfernt wird, dessen Energiedichte niedriger als der Schwellenwert der Zerfallsenergie der leitenden Schicht und höher als der der Harzschicht ist.

[0025] Wir haben empirisch festgestellt, daß die Schwellenwerte der Zerfallsenergie von Materialien bei einer Wellenlänge von 355 nm wie folgt sind: Epoxid: 0,3–0,5 J/cm<sup>2</sup>, Kupfer: 0,8–1,0 J/cm<sup>2</sup>, Glas: 5–6 J/cm<sup>2</sup>. Durch die vorliegende Erfindung kann mittels dieser von uns festgestellten, kleinen Differenz zwischen den Schwellenwerten der Zerfallsenergie von Epoxidharz und Kupfer die anvisierte leitende Schicht durch selektives Wegätzen der Restschicht mit einem zweiten UV-Laserstrahl, dessen Energiedichte geringer als der Schwellenwert der Zerfallsenergie der leitenden Schicht und höher als der der Harzschicht ist, erfolgreich freigelegt werden.

[0026] Überdies sollte gemäß diesem Verfahren die Dicke der Restschicht durch einen haubenförmigen ersten UV-Laserstrahl homogenisiert werden. Die vorliegende Erfindung ist am besten zu nutzen, wenn eine Bearbeitung mit einem haubenförmigen ersten UV-Laser und eine Bearbeitung mit einem UV-Laser, dessen Energiedichte geringer als der Schwellenwert der Zerfallsenergie der leitenden Schicht und höher als der der Harzschicht ist, kombiniert werden.

[0027] Zur Lösung der zweiten Aufgabe wird die räumliche Energieverteilung des zweiten UV-Laserstrahls haubenförmig eingestellt, und der Durchmesser des Strahls wird mit dem Durchmesser der durch den ersten Laserstrahl in der Harzschicht erzeugten Bohrung in Übereinstimmung gebracht, um eine Beschädigung der Oberfläche der Harzschicht zu verhindern.

[0028] Ein weiteres Verfahren zur Lösung der ersten Aufgabe besteht in den aufeinanderfolgenden Schritten der Erzeugung einer Bohrung in der leitenden Schicht durch einen ersten UV-Laserstrahl, dessen Energiedichte höher als der Schwellenwert der Zerfallsenergie der leitfähigen Schicht ist, der Bearbeitung der Harzschicht mit einem CO<sub>2</sub>-Laserstrahl und der Entfernung des Rückstands mit einem UV-Laser, dessen Energiedichte geringer als der Schwellenwert der Zerfallsenergie der leitenden Schicht und höher als der der Harzschicht ist. Da bei dieser Ausführungsform gemäß unserem vorstehend erwähnten Experiment bei dem CO<sub>2</sub>-Laser automatisch ein Rückstand (ein Restteil der Harzschicht) verbleibt, ist es leicht, die Prozeßparameter einzustellen, da es unnötig ist, die Dicke der Restschicht zu steuern. Überdies wird die Seitenwand der Harzschicht nicht faßartig ausgebuchtet, wie bei dem UV-Laserprozeß.

[0029] Zur Lösung der dritten Aufgabe werden mindestens zwei Laserpfade erzeugt, die räumlichen Energieverteilungen werden durch die Homogenisierungseinheiten in den Pfaden haubenförmig eingestellt, und die Durchmesser und die Energiedichten werden unabhängig eingestellt. Wenn die Pfade beispielsweise durch eine akusto-optische Ab-

lenkeinrichtung von einem Laserkopf umgeschaltet werden, ist dies zur Einsparung von Raum gut. Sind überdies die Pfade an einer gemeinsamen Achse in der Nähe der Oberfläche eines Substrats ausgerichtet, wird die Verarbeitungszeit verkürzt, da die Tabelle für das Substrat zum Zeitpunkts des Umschaltens des Pfads nicht notwendigerweise bewegt wird.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0030] Fig. 1 ist ein schematisches Diagramm eines erfindungsgemäßen Laserbearbeitungssystems;

[0031] Fig. 2a ist eine Darstellung, die die Energieverteilungen von UV-Laserstrahlen und damit einen Erweiterungsprozeß einer Bohrung in einem RCC-Substrat zeigt; [0032] Fig. 2b ist eine Zeitübersicht der Bewegungen von Galvanometerspiegeln und UV-Laserimpulsen für den Prozeß gemäß Fig. 2a;

[0033] Fig. 3a ist eine Darstellung, die die Energieverteilungen von UV-Laserstrahlen und damit einen Ausdehnungsprozeß einer Bohrung in einem Direktharzsubstrat zeigt;

[0034] Fig. 3b ist eine Zeitübersicht der Bewegungen von Galvanometerspiegeln und UV-Laserimpulsen für den Prozeß gemäß Fig. 3(a);

[0035] Fig. 4 ist ein schematisches Diagramm eines weiteren erfindungsgemäßen Laserbearbeitungssystems;

[0036] Fig. 5a ist eine Darstellung, die die Energieverteilung eines UV-Laserstrahls und das Bohren einer Bohrung in einer leitenden Schicht durch eine kreisförmige Bearbeitung bei einem Glas enthaltenden Substrat zeigt;

[0037] Fig. 5b ist eine Darstellung, die die Energieverteilung eines CO<sub>2</sub>-Laserstrahls und das Bohren einer Bohrung in einer Harzschicht durch eine Bearbeitung mit wiederholten Impulsen bei einem Glas enthaltenden Substrat zeigt;

[0038] Fig. 5c ist eine Darstellung, die die Energieverteilung eines UV-Laserstrahls und einen Prozeß zur Entfernung einer Restschicht in einem Glas enthaltenden Substrat zeigt;

[0039] Fig. 6a ist eine Zeitübersicht der Bewegungen von Galvanometerspiegeln und der UV-Laserimpulse für den Prozeß gemäß Fig. 5a;

[0040] Fig. 6b ist eine Zeitübersicht der Bewegungen von Galvanometerspiegeln und der CO<sub>2</sub>-Laserimpulse für den Prozeß gemäß Fig. 5b;

[0041] Fig. 6c ist eine Zeitübersicht der Bewegungen von Galvanometerspiegeln und der UV-Laserimpulse für den Prozeß gemäß Fig. 5c;

[0042] Fig. 7a ist eine Darstellung, die die Energieverteilung eines UV-Laserstrahls und das Bohren einer Bohrung in einer leitenden Schicht durch eine kreisförmige Bearbeitung bei einem RCC-Substrat zeigt;

[0043] Fig. 7b ist eine Darstellung, die die Energieverteilung eines CO<sub>2</sub>-Laserstrahls und das Bohren einer Bohrung in einer Harzschicht durch eine Bearbeitung durch wiederholte Impulse bei einem RCC-Substrat zeigt;

[0044] Fig. 7c ist eine Darstellung, die die Energieverteilung eines UV-Laserstrahls und den Prozeß der Entfernung einer Restschicht bei einem RCC-Substrat zeigt;

[0045] Fig. 8a ist eine Zeitübersicht der Bewegungen von Galvanometerspiegeln und der UV-Laserimpulse für den Prozeß gemäß Fig. 7a;

[0046] Fig. 8b ist eine Zeitübersicht der Bewegungen von Galvanometerspiegeln und der CO<sub>2</sub>-Laserimpulse für den Prozeß gemäß Fig. 7b;

[0047] Fig. 8c ist eine Zeitübersicht der Bewegungen von Galvanometerspiegeln und der UV-Laserimpulse für den Prozeß gemäß Fig. 7c;

[0048] Fig. 9a ist eine Darstellung, die die Energievertei-

lung eines CO<sub>2</sub>-Laserstrahls und das Bohren einer Bohrung in einer Harzschicht eines Glas enthaltenden Direktharzsubstrats zeigt;

[0049] Fig. 9b ist eine Zeitübersicht der Bewegungen von Galvanometerspiegeln und der CO<sub>2</sub>-Laserimpulse für den Prozeß gemäß Fig. 9a;

[0050] Fig. 9c ist eine Darstellung, die die Energieverteilung eines UV-Laserstrahls und den Prozeß der Entfernung einer Restschicht bei einem Glas enthaltenden Direktharzsubstrat zeigt;

[0051] Fig. 9d ist eine Zeitübersicht der Bewegungen von Galvanometerspiegeln und der UV-Laserimpulse für den Prozeß gemäß Fig. 9c;

[0052] Fig. 10a ist eine Darstellung, die die Energieverteilung eines CO<sub>2</sub>-Laserstrahls und das Bohren einer Bohrung in einer Harzschicht eines Direktharzsubstrats zeigt;

[0053] Fig. 10b ist eine Zeitübersicht der Bewegungen von Galvanometerspiegeln und der CO<sub>2</sub>-Laserimpulse für den Prozeß gemäß Fig. 10a;

[0054] Fig. 10c ist eine Darstellung, die die Energieverteilung eines UV-Laserstrahls und den Prozeß der Entfernung einer Restschicht bei einem Direktharzsubstrat zeigt;

[0055] Fig. 10d ist eine Zeitübersicht der Bewegungen von Galvanometerspiegeln und der UV-Laserimpulse für den Prozeß gemäß Fig. 10c;

[0056] Fig. 11a ist eine Darstellung, die die Energieverteilung eines UV-Laserstrahls und das Bohren einer Bohrung in einer Harzschicht eines Direktharzsubstrats zeigt;

[0057] Fig. 11b ist eine Zeitübersicht der Bewegungen von Galvanometerspiegeln und der UV-Laserimpulse für den Prozeß gemäß Fig. 11a;

[0058] Fig. 11c ist eine Darstellung, die die Energieverteilung eines UV-Laserstrahls und den Prozeß der Entfernung einer Restschicht bei einem Direktharzsubstrat zeigt;

[0059] Fig. 11d ist eine Zeitübersicht der Bewegungen von Galvanometerspiegeln und der UV-Laserimpulse für den Prozeß gemäß Fig. 11c;

[0060] Fig. 12 ist ein schematisches Diagramm eines weiteren erfindungsgemäßen Laserbearbeitungssystems;

[0061] Fig. 13a ist eine Darstellung, die Energieverteilungen von UV-Laserstrahlen und damit eines Ausweitungsprozesses einer Bohrung in einem RCC-Substrat zeigt;

[0062] Fig. 13b ist eine Zeitübersicht der Bewegung von Galvanometerspiegeln und der UV-Laserimpulse für den Prozeß gemäß Fig. 13a;

[0063] Fig. 14a ist eine Darstellung, die Energieverteilungen von UV-Laserstrahlen und damit eines Ausweitungsprozesses einer Bohrung in einem Direktharzsubstrat zeigt;

[0064] Fig. 14b ist eine Zeitübersicht der Bewegung von Galvanometerspiegeln und der UV-Laserimpulse für den Prozeß gemäß Fig. 14a;

[0065] Fig. 15 ist ein schematisches Diagramm eines weiteren erfindungsgemäßen Laserbearbeitungssystems;

[0066] Fig. 16 ist ein schematisches Diagramm eines weiteren erfindungsgemäßen Laserbearbeitungssystems;

[0067] Fig. 17 ist ein Diagramm eines herkömmlichen optischen Systems zum Bohren mit Laserlicht;

[0068] Fig. 18a ist ein schematisches Diagramm, das die Wirkung des Kollimators 3 und der Öffnung 4 zeigt; und

[0069] Fig. 18b ist ein schematisches Diagramm, das eine räumliche Energieverteilung bei der Verwendung einer Strahlenhomogenisiervorrichtung 30 entlang des optischen Pfads zeigt.

## GENAUE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

(Ausführungsform 1 der Vorrichtung)

[0070] Fig. 1 zeigt ein schematisches Diagramm eines optischen Systems eines erfindungsgemäßen Laserbearbeitungssystems. Ein polarisierender, Q-geschalteter YVO<sub>4</sub>-Laserkopf, dessen Wellenlänge von einem nicht linearen optischen Element LBO (LiB<sub>3</sub>O<sub>5</sub>) in die dritten Harmonien (355 nm) umgewandelt wurde und dessen Wiederholungsfrequenzbereich 10–100 kHz betrug, wurde als UV-Laserkopf 1 verwendet. Der Laserkopf ist so platziert, daß der Vektor des elektrischen Felds des Laserstrahls 2 parallel zu einem Zeichnungsblatt eingestellt ist ("P-Polarisierung"). Eine akusto-optische Ablenkeinrichtung 6 ist entlang dem optischen Pfad des Laserstrahls 2 angeordnet. Eine akusto-optische Ablenkeinrichtung weist im allgemeinen ein mit einem piezoelektrischen Element verbundenes akusto-optisches Element auf und wird verwendet, um einen auftretenden Lichtstrahl mit den durch Anlegen einer RF-Spannung an das piezoelektrische Element erzeugten Ultraschallwellenfronten durch eine Bragg-Diffraktion abzulenken. Die Richtung des Laserstrahls 2 wird durch die akusto-optische Ablenkvorrichtung 6 aus der geraden Richtung 2<sub>k</sub> in die abgelenkte Richtung 2<sub>i</sub> verändert. Der abgelenkte Laserstrahl 2<sub>i</sub> wird durch eine Strahlenhomogenisiereinheit 30; homogenisiert, so daß es eine haubenförmige räumliche Energieverteilung aufweist, durch einen Kollimator 3<sub>i</sub> gebündelt und vergrößert oder verkleinert und durch eine Öffnung 4<sub>i</sub> auf einen geeigneten Durchmesser für eine Bearbeitung gebracht. Dann wird der Laserstrahl 2<sub>i</sub> durch einen Eckspiegel 5<sub>i</sub> reflektiert, und die Polarisation wird durch eine Halbwellenplatte 11 so gedreht, daß der Vektor des elektrischen Felds des Laserstrahls 2<sub>i</sub> senkrecht zu dem Zeichnungsblatt eingestellt wird ("S-Polarisierung"). Als nächstes wird der Laserstrahl 2<sub>i</sub> durch eine polarisierende Strahlenkombiniervorrichtung 10 reflektiert, die ein invers betätigter, polarisierender Strahlenteiler 10 ist und P-polarisiertes Licht überträgt und S-polarisiertes Licht reflektiert. Dann wird der Laserstrahl 2<sub>i</sub> durch einen Eckspiegel 5<sub>k</sub> reflektiert und gelangt in einen Bearbeitungskopf Z, der zwei Galvanometerspiegel und eine f-θ-Linse enthält, wie in Fig. 17 gezeigt. Schließlich wird der Laserstrahl 2<sub>i</sub> durch die Galvanometerspiegel positioniert und durch die f-θ-Linse kondensiert und trifft senkrecht auf die Oberfläche eines zu bearbeitenden Substrats auf.

[0071] Andererseits wird der übertragene Laserstrahl 2<sub>k</sub> durch eine Strahlenhomogenisiereinheit 30<sub>k</sub> so homogenisiert, daß er eine haubenförmige räumliche Energieverteilung aufweist, durch einen Kollimator 3<sub>k</sub> gebündelt und vergrößert oder verkleinert und durch eine Öffnung 4<sub>k</sub> auf einen für eine Bearbeitung geeigneten Durchmesser gebracht. Dann wird der Laserstrahl 2<sub>k</sub> durch die polarisierende Strahlenkombiniervorrichtung 10 übertragen, da der Laserstrahl 2<sub>k</sub> P-polarisiert ist (P<sub>k</sub>), und der Laserstrahl 2<sub>k</sub> wird durch einen Eckspiegel 5<sub>k</sub> reflektiert und gelangt in einen Bearbeitungskopf Z. Schließlich wird der Laserstrahl 2<sub>k</sub> durch die Galvanometerspiegel polarisiert und durch die f-θ-Linse kondensiert und trifft senkrecht auf der Oberfläche eines zu bearbeitenden Substrats auf. Bei diesem Beispiel bewegen sich die Laserstrahlen (2<sub>i</sub> und 2<sub>k</sub>) nach dem Passieren der polarisierenden Strahlenkombiniervorrichtung 10 längs einem gemeinsamen optischen Pfad.

[0072] Für eine Bearbeitung geeignete, räumliche Energieverteilungen A<sub>i</sub> und B<sub>k</sub> können durch Einstellen von Vergrößerungen M<sub>i</sub> und M<sub>k</sub> der Kollimatoren 3<sub>i</sub> und 3<sub>k</sub> erhalten werden, wobei die Durchmesser der Öffnungen konstant ge-



halten werden (siehe Fig. 18b). Überdies kann durch Entfernen der Öffnung 4<sub>i</sub> aus dem optischen Pfad der vollständige Ausgang mit der Verteilung C<sub>i</sub> erhalten werden.

[0073] Dies ist eine sehr stark vereinfachte Ausführung einer Vorrichtung mit zwei optischen Pfaden für die Bearbeitung, deren jeweilige Energieverteilungseinstellungen im wesentlichen unabhängig sind. Daher wird die Vorrichtung kompakt. Zudem wird bei einem herkömmlichen System durch eine Ablenkvorrichtung, wie eine akusto-optische, übertragenes Licht in einen Strahlen-Dumper geleitet und als Wärme abgeleitet, bei der Vorrichtung gemäß dieser Ausführungsform jedoch effizient genutzt. Da sich die Laserstrahlen auf den beiden Pfaden nach Erreichen des Eckspiegels 5<sub>k</sub> den gleichen optischen Pfad entlang bewegen, ist überdies bei der aufeinanderfolgenden Bearbeitung mit Laserstrahlen keine Gestellbewegung oder dergleichen erforderlich. Dadurch kann die Bearbeitungszeit verkürzt werden.

[0074] Wird bei dieser Ausführungsform eine akusto-optische Ablenkeinrichtung, durch die die Polarisation des auftreffenden Lichts um 90° gedreht wird, als akusto-optische Ablenkeinrichtung 6 verwendet, wird die Halbwellenplatte 11 überflüssig, da keine Drehung der Polarisation erforderlich ist.

(Ausführungsform 1 der Bearbeitung)

[0075] Fig. 2a zeigt Energieverteilungen von UV-Laserstrahlen und damit einen Ausdehnungsprozeß einer Bohrung in einem RCC-Substrat mit bei der Ausführungsform 1 der Vorrichtung, und Fig. 2b ist eine Zeitübersicht der Bewegung von Galvanometerspiegeln und der UV-Laserimpulsen für den Prozeß gemäß Fig. 2a.

[0076] Hierbei sind die Bezeichnungen für die physikalischen Quantitäten der Laserstrahlen 2<sub>i</sub> und 2<sub>k</sub> wie folgt definiert:

E<sub>Pa</sub>: Impulsenergie ( $= E_{Pa} \cdot (d_{Aa}/d_{0a}/M_a)^2$ )

E<sub>POa</sub>: Impulsenergieausgang des Laserkopfs

d<sub>Aa</sub>: Durchmesser der Öffnung

d<sub>0a</sub>: Durchmesser des Laserstrahls 2a vor dem Eintritt in 30a

M<sub>a</sub>: Vergrößerung des Kollimators

T<sub>Pa</sub>: Impulsbreite

W<sub>Pa</sub>: Spitzenausgangsleistung ( $= E_{Pa}/T_{Pa}$ )

E<sub>dSa</sub>: Energiedichte ( $= E_{Pa}/\{\pi(d_{Sa}/2)^2\}$ )

d<sub>sa</sub>: Durchmesser des Bearbeitungspunkts ( $= d_{Aa} \cdot \{(L_a/f_a) - 1\}$ )

L<sub>a</sub>: Abstand zwischen der f-θ-Linse und dem Werkstück (Substrat)

f<sub>a</sub>: Brennweite der f-θ-Linse

T<sub>PPa</sub>: Periode eines Impulses

T<sub>GC</sub>: Periode der Positionierung der Galvanometerspiegel

E<sub>sa</sub>: Schwellenwert der Zerfallsenergie

N<sub>a</sub>: Anzahl der Impulsstöße

V<sub>a</sub>: Menge des entfernten Materials

wobei der Zusatz "a" eine Unterscheidung zwischen den Laserstrahlen "i" und "k" bezeichnet.

[0077] In Fig. 2a bezeichnet das Bezugszeichen 21 eine äußere, leitfähige (metallische) Schicht aus Kupfer (mit einer Dicke von 9 µm), das Bezugszeichen 22 bezeichnet eine Isolierschicht aus Epoxidharz (mit einer Dicke von 50 µm), das Bezugszeichen 24 bezeichnet eine innere leitende (metallische) Schicht aus Kupfer, und das Bezugszeichen t bezeichnet die Restdicke der Isolierschicht nach der Bearbeitung mit einem ersten Laserstrahl 2<sub>i</sub>. Zunächst wird der erste Laserstrahl 2<sub>i</sub> durch die Ablenkung durch Anlegen einer RF-Spannung durch die akusto-optische Ablenkvorrichtung 6 erhalten. In diesem Schritt sollte der Schwellenwert E<sub>Si</sub> bei der Verwendung des ersten Laserstrahls 2<sub>i</sub> 0,8–1,0 J/cm<sup>2</sup> be-

tragen, was dem Schwellenwert der Zerfallsenergie der äußeren leitfähigen Schicht 21 (0,8–1,0 J/cm<sup>2</sup>) entspricht, der höher als der Schwellenwert der Zerfallsenergie der Harzschicht 22 (0,3–0,5 J/cm<sup>2</sup>) ist.

[0078] Da die zur effizienten Entfernung der leitenden Schicht erforderliche Energiedichte des Laserstrahls 21 gemäß unserem Experiment 3,0 J/cm<sup>2</sup> oder mehr betrug, war ein stark kondensiertes Licht erforderlich. Daher wurde für den Erhalt eines starken und breiten Strahls die Energieverteilung C<sub>i</sub> für den Laserstrahl 2<sub>i</sub> verwendet. Wenn die Impulsbreite T<sub>Pi</sub> 25 ns, die Impulsperiode T<sub>PPi</sub> 0,03 ms (eine Frequenz von 30 kHz), der Spitzenausgang W<sub>Pi</sub> 2,4–4,0 kW, die Impulsenergie E<sub>Pi</sub> 0,06–0,10 mJ und der Durchmesser d<sub>Si</sub> des Bearbeitungspunkts 40 µm betrugen, erhielten wir eine Impulsenergiedichte E<sub>dSi</sub> von 4,8–8,0 J/cm<sup>2</sup>. Wir konnten mit dem Laserstrahl fast die gesamte Dichte der leitenden Schicht 21 und der Harzschicht entfernen. Zudem war zur Erzeugung eines Fensters mit einem Durchmesser von 100 µm in der leitenden Schicht mit einer Dicke von 9 µm eine Bearbeitung mit mehreren Impulsen bei einer kreisförmigen Anordnung des Strahlenpunkts (einer "kreisförmigen Bearbeitung" oder einem "Hohlbohren", wie in Fig. 2a durch einen Pfeil dargestellt) erforderlich, da der Bearbeitungspunkt kleiner als das Fenster war. In diesem Fall betrug die erforderliche Anzahl N<sub>i</sub> an Impulsstößen insgesamt 100. Hierbei betrug die bevorzugte Restdicke (t) der Harzschicht 5–10 µm. Da die räumliche Energieverteilung des ersten Laserstrahls 2<sub>i</sub> haubenförmig war, war die Restdicke im wesentlichen gleichmäßig.

[0079] Die Restdicke (t) der Harzschicht 22 wurde durch einen zweiten Laserstrahl 2<sub>k</sub> entfernt, der durch Abschalten der RF-Spannung der akusto-optischen Ablenkvorrichtung 6 erhalten wurde. Die zum Entfernen der Restdicke der Harzschicht auf dem Boden der Bohrung erforderliche Energiedichte des UV-Laserstrahls 2<sub>k</sub> war größer als 0,3–0,5 J/cm<sup>2</sup> (genauer betrug sie 0,5 J/cm<sup>2</sup> oder mehr). Zur gleichmäßigen Entfernung der Restharzschicht und zur Entfernung einer auf der Oberfläche der inneren, leitfähigen Schicht ausgebildeten, oxidierten Schicht zur Verbesserung der Abschaltbeständigkeit der Harzschicht und im wesentlichen zur Vermeidung einer Beschädigung der inneren leitfähigen Schicht wurde eine haubenförmige Verteilung B<sub>k</sub> verwendet. Überdies wird die innere, leitfähige Schicht 24 nicht beschädigt, wenn die Impulsenergie E<sub>Pk</sub> des zweiten Laserstrahls 2<sub>k</sub> höher als der Schwellenwert E<sub>Sk</sub> der Zerfallsenergie ist, der dem Schwellenwert der Zerfallsenergie der Harzschicht entspricht und geringer als der Schwellenwert der Zerfallsenergie der inneren leitenden Schicht 24 ist. Daher wurden eine Impulsbreite T<sub>Pk</sub> von 25 ns, eine Impulsperiode T<sub>PPk</sub> von 0,03 ms (einer Frequenz von 30 kHz), einem Spitzenausgang W<sub>Pk</sub> von 2,3–3,6 kW und einer Impulsenergie E<sub>Pk</sub> von 0,06–0,09 mJ sowie ein Bearbeitungspunktdurchmesser d<sub>Sk</sub> von 120 µm verwendet, was größer als der Fensterdurchmesser von 100 µm ist. Dadurch erhielten wir eine Impulsenergiedichte E<sub>dSk</sub> von 0,5–0,8 J/cm<sup>2</sup>. Unter dieser Bedingung konnte die Restdicke der Harzschicht entfernt werden, da die Energiedichte höher als der praktisch erforderliche Schwellenwert der Zerfallsenergie von 0,5–0,8 J/cm<sup>2</sup> für die Harzschicht aus Epoxid war, und die innere, leitende Schicht konnte nicht beschädigt werden, da die Energiedichte geringer als der Schwellenwert der Zerfallsenergie von 0,8–1,0 J/cm<sup>2</sup> für Kupfer war, dem Material der inneren, leitenden Schicht. Die Entfernungsgeschwindigkeit für die Harzschicht betrug bei dieser Ausführungsform ca. 0,5 µm/Impuls, und die erforderliche Anzahl N<sub>k</sub> der Impulse betrug 30.

[0080] Fig. 2b zeigt eine Zeitübersicht dieses Verfahrens. Es ist ersichtlich, daß der abgeschwächte zweite Laserstrahl

$2_k$  während der Bearbeitung mit dem ersten Laserstrahl  $2_i$  kombiniert wurde, da die Effizienz der Diffraction der akustooptischen Vorrichtung nicht 100% betrug. Da jedoch die Größe des abgeschwächten, zweiten Laserstrahls geringer als der Schwellenwert der Zerfallsenergie des Harzes ist, trat keine Verschlechterung bei der Bearbeitung mit dem ersten Laserstrahl  $2_i$  auf.

[0081] Gemäß dieser Ausführungsform traten keine Ablösungen zwischen den leitenden Schichten und den Harzschichten entlang der Kanten der Böden der Durchgangsbohrungen auf. Zudem verblieben in einigen Fällen geringfügig Zerfallsrückstände auf dem Boden einer Bohrung auf einer leitenden Schicht. Dadurch wurde jedoch kein Problem verursacht, da die Rückstände zusammen mit oxidierten Schichten oder dergleichen auf der Oberfläche der inneren leitfähigen Schicht durch chemisches Lichtätzen entfernt werden können, das der erste Schritt des nach der Laserstrahlbearbeitung auszuführenden Galvanisierungsprozesses ist.

(Ausführungsform 2 der Bearbeitung)

[0082] Fig. 3a zeigt Energieverteilungen von UV-Laserstrahlen und damit eines Ausdehnungsprozesses der Bohrung in einem Direktharzsubstrat, dessen Eingangsmaterial Epoxidharz ist, durch die Ausführungsform 1 der Vorrichtung, und Fig. 3b ist eine Zeitübersicht von Bewegungen von Galvanometerspiegeln und der UV-Laserimpulse für den Prozeß gemäß Fig. 3a. In Fig. 3a bezeichnen das Bezugszeichen 22 eine Isolierschicht aus Epoxidharz (mit einer Dicke von 50  $\mu\text{m}$ ), das Bezugszeichen 24 eine innere, leitende (metallische) Schicht aus Kupfer und das Bezugszeichen t eine Restdicke der Isolierschicht nach der Bearbeitung mit einem ersten Laserstrahl  $2_i$ . Hierbei ist der Schwellenwert  $E_{Si}$  bei der Verwendung des ersten Laserstrahls  $2_i$  der Schwellenwert der Zerfallsenergie der Harzschicht 22 aus Epoxid, d. h. 0,3–0,5 J/cm<sup>2</sup>.

[0083] Bei dieser Ausführungsform waren die Bedingungen mit der Ausnahme der folgenden Unterschiede fast identisch wie bei der Ausführungsform 1 der Bearbeitung.

[0084] Da die zur Entfernung der Harzschicht erforderliche Energiedichte des Laserstrahls  $2_i$  geringer als die zur Entfernung der leitfähigen Schicht erforderliche war, war die Energieverteilung  $A_i$ . Wenn die Impulsbreite  $T_{Pi}$  25 ns, die Impulsperiode  $T_{Ppi}$  0,03 ms (eine Frequenz von 30 kHz), der Spitzenausgang  $W_{Pi}$  1,0–1,6 kW, die Impulsenergie  $E_{Pi}$  0,025–0,040 mJ und der Bearbeitungspunktdurchmesser  $d_{Si}$  50  $\mu\text{m}$  betragen, erhielten wir eine Impulsenergiedichte  $E_{dSi}$  von 1,3–2,0 J/cm<sup>2</sup> zur Entfernung annähernd der gesamten Dicke der Harzschicht mit dem Laserstrahl. Die erforderliche Anzahl  $N_i$  betrug insgesamt 100. Die bevorzugte Restdicke (t) der Harzschicht betrug 5–10  $\mu\text{m}$ . Da die räumliche Energieverteilung des ersten Laserstrahls  $2_i$  haubenförmig war, war die Restdicke im wesentlichen gleichmäßig.

[0085] Die Restdicke (t) der Harzschicht 22 wurde durch einen zweiten Laserstrahl  $2_k$  mit einer haubenförmigen Verteilung  $B_k$  entfernt. Es wurden eine Impulsbreite  $T_{Pk}$  von 25 ns, eine Impulsperiode  $T_{Ppk}$  von 0,03 ms (einer Frequenz von 30 kHz) und ein Spitzenausgang  $W_{Pk}$  von 0,4–0,6 kW verwendet. Bei dieser Ausführungsform wurde der Durchmesser  $d_{Sk}$  des Bearbeitungspunkts von 120  $\mu\text{m}$ , was größer als der Durchmesser des Fensters ist, anders als bei der Ausführungsform 1 der Bearbeitung, auf 50  $\mu\text{m}$  eingestellt, was dem Bohrungsdurchmesser des ersten Laserstrahls entspricht, um eine Beschädigung des weiteren Teils zu verhindern. Daher wurde die Impulsenergie auf 0,010–0,016 mJ verringert, und die Impulsenergiedichte  $E_{dSk}$  wurde 0,5–0,8 J/cm<sup>2</sup>. Die Entfernungsgeschwindigkeit der Harz-

schicht betrug bei dieser Ausführungsform ca. 0,5  $\mu\text{m}$ /Impuls, und die erforderliche Anzahl  $N_k$  der Impulse betrug 15.

(Ausführungsform 2 der Vorrichtung)

[0086] Fig. 4 ist ein schematisches Diagramm eines weiteren Laserbearbeitungssystems als Ausführungsform 2 der erfindungsgemäßen Vorrichtung, bei der die Harzschicht nach dem Bohren eines Fensters mit einem UV-Laser mit einem CO<sub>2</sub>-Laser entfernt werden kann. Ein von einem UV-Laserkopf  $1_i$  emittierter UV-Laserstrahl  $2_i$  passiert eine Strahlenhomogenisiereinheit  $30_i$ , dann wird der Durchmesser des Strahls  $2_i$  durch einen Kollimator  $3_i$  vergrößert oder verkleinert und durch eine Öffnung  $4_i$  auf einen für eine Bearbeitung geeigneten Durchmesser gebracht, und der Laserstrahl  $2_i$  wird von einem Eckspiegel  $5_i$  reflektiert und gelangt in einen Bearbeitungskopf  $Z_i$ . Dann wird der Laserstrahl  $2_i$  positioniert, durch den Bearbeitungskopf  $Z_i$  kondensiert und trifft senkrecht auf die Oberfläche des durch den Bearbeitungskopf  $Z_i$  zu bearbeitenden Substrats auf.

[0087] Ein von einem CO<sub>2</sub>-Laserkopf  $1_j$  emittierter CO<sub>2</sub>-Laserstrahl  $2_j$  gelangt durch eine Strahlenhomogenisiereinheit  $30_j$ , dann wird der Durchmesser des Strahls  $2_j$  durch einen Kollimator  $3_j$  vergrößert oder verkleinert, durch eine Öffnung  $4_j$  auf einen geeigneten Durchmesser für die Bearbeitung gebracht, und der Laserstrahl  $2_j$  wird von einem Eckspiegel  $5_j$  reflektiert und gelangt in einen Bearbeitungskopf  $Z_j$ . Dann wird der Laserstrahl  $2_j$  positioniert und kondensiert und trifft senkrecht auf der Oberfläche eines durch den Bearbeitungskopf  $Z_j$  zu bearbeitenden Substrats auf.

[0088] Ein von einem UV-Laserkopf  $1_k$  emittierter UV-Laserstrahl  $2_k$  passiert eine Strahlenhomogenisiereinheit  $30_k$ , dann wird der Durchmesser des Strahls  $2_k$  durch einen Kollimator  $3_k$  vergrößert oder verkleinert, durch eine Öffnung  $4_k$  auf einen für die Bearbeitung geeigneten Durchmesser gebracht, und der Laserstrahl  $2_k$  wird von einem Eckspiegel  $5_k$  reflektiert und gelangt in einen Bearbeitungskopf  $Z_k$ . Dann wird der Laserstrahl  $2_k$  positioniert, kondensiert und trifft senkrecht auf die Oberfläche eines durch den Bearbeitungskopf  $Z_k$  zu bearbeitenden Substrats auf.

[0089] Jede räumliche Energieverteilung der Laserstrahlen  $2_i$ ,  $2_j$  und  $2_k$  kann durch eine jeweilige Einstellung der Strahlenhomogenisiereinheiten  $30_i$ ,  $30_j$  und  $30_k$  von einer Gauß'schen Verteilung zu einer haubenförmigen Verteilung homogenisiert werden.

[0090] Zudem können durch Verändern der Öffnungsdurchmesser  $d_{Ai}$ ,  $d_{Aj}$  und  $d_{Ak}$  die Durchmesser  $d_{Si}$ ,  $d_{Sj}$  und  $d_{Sk}$  der Bearbeitungsstrahlen auf der Werkstückoberfläche entsprechend verändert werden, wobei ihre Energiedichten konstant gehalten werden.

[0091] Überdies können durch Verändern der jeweiligen Vergrößerung  $M_i$ ,  $M_j$  und  $M_k$  der Kollimatoren  $3_i$ ,  $3_j$  und  $3_k$  verschiedene räumliche Energieverteilungen  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $A_j$ ,  $B_j$ ,  $A_k$  und  $B_k$  erhalten werden, wobei die Durchmesser  $d_{Ai}$ ,  $d_{Aj}$  und  $d_{Ak}$  der Öffnungen konstant gehalten werden. Zudem können durch Entfernen der Öffnungen aus den optischen Pfaden jeweils die räumlichen Energieverteilungen  $C_i$ ,  $C_j$  und  $C_k$  der vollständigen Ausgänge erhalten werden.

[0092] Darüber hinaus kann jeder der Bearbeitungsköpfe  $Z_i$ ,  $Z_j$  und  $Z_k$  die Bearbeitung nacheinander ausführen, und jeder bearbeitbare Bereich reicht zur Bearbeitung des gesamten Bereichs einer gedruckten Verdrahtungsplatte aus. Dann werden die Bearbeitungsköpfe linear an der Laserstrahlbearbeitungsvorrichtung angeordnet, die Abstände  $L_{ij}$ ,  $L_{jk}$  zwischen den Bearbeitungsachsen der Köpfe werden jeweils minimiert, und jeder Kopf kann die gleiche gedruckte Verdrahtungsplatte auf dem Tisch bearbeiten.

[0093] Die Fig. 5a, 5b und 5c sind Darstellungen, die Energieverteilungen von UV- und CO<sub>2</sub>-Laserstrahlen und das Bohren einer Bohrung in einem Glas enthaltenden Substrat mit der Ausführungsform 2 der Vorrichtung zeigen. Die Fig. 6a, 6b und 6c sind jeweils Zeitübersichten der Bewegungen von Galvanometerspiegeln und UV- und CO<sub>2</sub>-Laserimpulsen für den Prozeß gemäß den Fig. 5a, 5b und 5c.

[0094] Eine äußere leitfähige Schicht 21 (mit einer Dicke von 9 µm) wurde durch einen Laserstrahl 21 mit einer Impulsenergie E<sub>Pi</sub> entfernt, die höher als der Schwellenwert E<sub>Si</sub> der Zerfallsenergie war, wie in Fig. 5a gezeigt. Hierbei wurden ein Laserstrahl 2<sub>i</sub> mit einer Verteilung C<sub>i</sub>, einer Impulsbreite T<sub>Pi</sub> von 30 ns, einer Impulsperiode T<sub>PPi</sub> von 0,04 ms (einer Frequenz von 25 kHz), einem Spitzenausgang W<sub>Pi</sub> von 4 kW, einer Impulsenergie E<sub>Pi</sub> von 0,12 mJ, einem Bearbeitungspunktdurchmesser d<sub>Si</sub> von 60 µm und einer Impulsenergie E<sub>ASi</sub> von 4 J/cm<sup>2</sup> verwendet. Unter diesen Bedingungen erhielten wir die praktisch erforderliche Energiedichte von nicht weniger als 3 J/cm<sup>2</sup>, die empirisch erhalten wurde, zur Entfernung der leitfähigen Schicht. Ferner war zur Erzeugung eines Fensters mit einem Durchmesser von 100 µm eine kreisförmige Verarbeitung erforderlich, da der Bearbeitungspunktdurchmesser kleiner als das Fenster war. In diesem Fall betrug die erforderliche Anzahl N<sub>i</sub> der Impulsstöße insgesamt 80.

[0095] Wie in Fig. 5b gezeigt, wurde annähernd die gesamte Dicke einer Glasfasern 23 enthaltenden Harzschicht 22 (mit einer Dicke von 50 µm) durch einen CO<sub>2</sub>-Laserstrahl mit der Verteilung C<sub>j</sub>, einer Impulsbreite T<sub>Pj</sub> von 10 µm, einem Spitzenausgang W<sub>Pj</sub> von 800 W, einer Impulsenergie E<sub>Pj</sub> von 8 mJ, einem Bearbeitungspunktdurchmesser d<sub>Sj</sub> von 150 µm, der größer als der Fensterdurchmesser von 100 µm war, und einer Impulsenergie E<sub>ASj</sub> von 45 J/cm<sup>2</sup> entfernt. Die Anzahl der Impulse betrug 3. Unter diesen Bedingungen wurde fast die gesamte Dicke der Harzschicht entfernt, doch ein Rückstand der Harzschicht mit einer Dicke (t<sub>c</sub>) von 0,1–3 µm verblieb auf dem Boden der Bohrung.

[0096] Wie in Fig. 5c gezeigt, wurde der Rückstand mit einem Laserstrahl 2<sub>k</sub> mit der Verteilung B<sub>k</sub>, einer Impulsbreite T<sub>Pk</sub> von 30 ns, einer Impulsperiode T<sub>PPk</sub> von 0,04 ms (einer Frequenz von 25 kHz), einem Spitzenausgang W<sub>Pk</sub> von 4 kW, einer Impulsenergie E<sub>Pk</sub> von 0,12 mJ, einem Bearbeitungspunktdurchmesser d<sub>Sk</sub> von 150 µm, der größer als der Fensterdurchmesser von 100 µm war, und einer Impulsenergie E<sub>ASk</sub> von 0,7 J/cm<sup>2</sup> entfernt. Die Entfernungsgeschwindigkeit der Harzschicht betrug ca. 0,5 µm/Impuls, und die erforderliche Anzahl an Impulsen betrug 10–15.

[0097] Unter Verwendung der Ausführungsform 3 der Bearbeitung konnten leitfähige Schichten und Glasfasern enthaltende Harzschichten sehr effizient bearbeitet werden. Zudem ist der Gesamtenergiebetrag des am Bohrungsboden ankommenden UV-Laserstrahls ca. 0,55 mJ (≈ 0,12 mJ · 10 Stöße · (Ø100/Ø150)<sup>2</sup>), d. h. weniger als ca. 10% der zur Bearbeitung der gesamten Harzschicht nur mit dem zweiten Laserstrahl erforderlichen Gesamtenergie von 6 mJ (≈ 0,12 · 50 Stöße). Daher wird der Bohrungsboden nicht beschädigt, und es tritt selbst dann keine Ablösung zwischen der leitfähigen Schicht und der Harzschicht an der Bodenkannte auf, wenn das Material der Harzschicht einen niedrigen Absorptionskoeffizienten für den UV-Laser aufweist. Zudem veränderte sich die Restdicke (die Dicke des Rückstands) nach der Bearbeitung mit dem CO<sub>2</sub>-Laserstrahl 2<sub>j</sub> selbst dann nicht, wenn sich die Dicke der Harzschicht veränderte. Daher wurde die Zuverlässigkeit der Bearbeitung bei dieser Ausführungsform der Bearbeitung verbes-

[0098] Die Fig. 7a, 7b und 7c sind Darstellungen, die die Energieverteilungen von UV- und CO<sub>2</sub>-Laserstrahlen und das Bohren einer Bohrung in einem RCC-Substrat mit der Ausführungsform 2 der Vorrichtung zeigen. Die Fig. 8a, 8b und 8c sind jeweils Zeitübersichten der Bewegungen von Galvanometerspiegeln und von UV- und CO<sub>2</sub>-Laserimpulsen für den Prozeß gemäß den Fig. 7a, 7b und 7c.

[0099] Eine äußere, leitfähige Schicht 21 wurde, wie in Fig. 7a gezeigt, genau so bearbeitet, wie bei der Ausführungsform 3 der Bearbeitung gemäß Fig. 5a. Wie in Fig. 7b gezeigt, wurde fast die gesamte Dicke einer Harzschicht 22 mit dem CO<sub>2</sub>-Laserstrahl 2<sub>j</sub> mit der Verteilung B<sub>j</sub>, einer Impulsbreite T<sub>Pj</sub> von 10 ms, einem Spitzenausgang W<sub>Pj</sub> von 500 W und einer Impulsenergie E<sub>Pj</sub> von 5 mJ entfernt, die geringer als der Wert bei der Ausführungsform 3 der Bearbeitung ist, da der Schwellenwert der Zerfallsenergie der Harzschicht geringer als bei der Glasfasern enthaltenden Harzschicht war.

[0100] Wir verwendeten einen Bearbeitungspunktdurchmesser d<sub>Sj</sub> von 150 µm, der größer als der Fensterdurchmesser von 100 µm war, wodurch eine Impulsenergie E<sub>ASj</sub> von 30 J/cm<sup>2</sup> erhalten wurde, die höher als die 10 J/cm<sup>2</sup> war, die empirisch als Untergrenze der in der Praxis zur Entfernung der Harzschicht erforderlichen Energiedichte ermittelt wurden.

[0101] Unter diesen Bedingungen wurde annähernd die gesamte Dicke der Harzschicht durch 1–2 Stöße des Laserstrahls 2<sub>k</sub> entfernt, obwohl ein Rückstand mit einer Dicke (t<sub>c</sub>) von 0,1–3 µm auf dem Boden der Bohrung verblieb. Der Rückstand wurde, wie in Fig. 7c gezeigt, auf die gleiche Weise wie bei der Ausführungsform 3 der Bearbeitung gemäß Fig. 5c entfernt.

[0102] Die Fig. 9a und 9c sind Darstellungen, die Energieverteilungen von CO<sub>2</sub>- und UV-Laserstrahlen und das Bohren einer Bohrung in einer Harzschicht eines Glas enthaltenden Direktharzsubstrats ("FR-4-Substrats") durch die Ausführungsform 2 der Vorrichtung zeigen. Die Fig. 9b und 9d sind jeweils Zeitübersichten der Bewegungen von Galvanometerspiegeln und der CO<sub>2</sub>- und UV-Laserimpulse für den Prozeß gemäß den Fig. 9a und 9c.

[0103] Bei der Bearbeitung des FR-4-Substrats ohne äußere, leitfähige Schicht wurde eine Glasfasern 23 enthaltende, äußere Harzschicht 22, wie in Fig. 9a gezeigt, auf die gleiche Weise wie bei der Ausführungsform 3 der Bearbeitung gemäß Fig. 5b bearbeitet, mit der Ausnahme, daß der Eingangsdurchmesser einer Bohrung durch die räumliche Energieverteilung des Laserstrahls 2<sub>j</sub> und den Schwellenwert E<sub>Sj</sub> der Zerfallsenergie der Harzschicht bestimmt wurde. Die Restdicke (die Dicke des Rückstands) der Harzschicht 22 am Boden der Bohrung wurde, wie in Fig. 9c gezeigt, durch den Laserstrahl 2<sub>k</sub> auf die gleiche Weise bei der Ausführungsform 3 der Bearbeitung wie gemäß Fig. 5c entfernt.

[0104] Die Fig. 10a und 10c sind Darstellungen, die die Energieverteilungen von CO<sub>2</sub>- und UV-Laserstrahlen und das Bohren einer Bohrung in einer Harzschicht eines Direkt-harzsubstrats durch die Ausführungsform 2 der Vorrichtung zeigen. Die Fig. 10b und 10d sind jeweils Zeitübersichten

der Bewegungen von Galvanometerspiegeln und der CO<sub>2</sub>- und UV-Laserimpulse für den Prozeß gemäß den Fig. 10a und 10c.

[0105] Bei der Bearbeitung des Direktharzsubstrats ohne äußere, leitfähige Schicht wurde die äußere Harzschicht, wie in Fig. 10a gezeigt, auf die gleiche Weise wie bei der Ausführungsform 4 der Bearbeitung gemäß Fig. 7b bearbeitet, mit der Ausnahme, daß der Eingangsdurchmesser einer Bohrung durch die räumliche Energieverteilung des Laserstrahls  $2_j$  und den Schwellenwert  $E_{sj}$  der Zerfallsenergie der Harzschicht bestimmt wurde. Die Restdicke (die Dicke des Rückstands) der Harzschicht  $22$  auf dem Boden der Bohrung wurde, wie in Fig. 10c gezeigt, durch den Laserstrahl  $2_k$  auf die gleiche Weise wie bei der Ausführungsform 4 der Bearbeitung gemäß Fig. 7c entfernt.

(Ausführungsform 7 der Bearbeitung)

[0106] Die Fig. 11a und 11c sind Darstellungen, die die Energieverteilungen von UV-Lasern und das Bohren einer Bohrung in einer Harzschicht eines Direktharzsubstrats oder FR-4-Substrats durch die Ausführungsform 2 der Vorrichtung zeigen. Die Fig. 11b und 11d sind Zeitübersichten der Bewegungen von Galvanometerspiegeln und der UV-Laserimpulse für den Prozeß gemäß den Fig. 11a und 11c.

[0107] Bei der Bearbeitung des Direktharzsubstrats ohne äußere, leitfähige Schicht wurde eine äußere Harzschicht  $22$ , wie in Fig. 11a gezeigt, statt mit einem CO<sub>2</sub>-Laserstrahl  $2_j$  durch einen ersten UV-Laserstrahl mit einer Verteilung  $B_i$  bearbeitet. Die Impulsenergie  $E_{pi}$  wurde unter Berücksichtigung des Materials und der Veränderung der Dicke der Harzschicht so eingestellt, daß eine Restdicke ( $t$ ) von 5–10 µm verblieb. Die Restdicke auf dem Boden wurde durch den Laserstrahl  $2_k$  entfernt, wie in Fig. 11c gezeigt.

(Ausführungsform 3 der Vorrichtung)

[0108] Fig. 12 ist ein schematisches Diagramm eines weiteren Laserbearbeitungssystems als dritte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung, wobei die Elemente, die den in Fig. 4 gezeigten entsprechen, durch die gleichen Bezugszeichen bezeichnet sind.

[0109] Das Bezugszeichen 10 bezeichnet eine entlang dem optischen Pfad des Laserstrahls  $2_i$  angeordnete, polarisierende Strahlenkombiniervorrichtung, das Bezugszeichen 11 bezeichnet eine entlang dem optischen Pfad des Laserstrahls  $2_k$  angeordnete Halbwellenplatte, und das Bezugszeichen 12 bezeichnet einen Eckspiegel. Der Eckspiegel 12 reflektiert den Laserstrahl  $2_k$ , so daß sich dieser auf dem gleichen Pfad wie der durch die polarisierende Strahlenkombiniervorrichtung 10 übertragene Laserstrahl  $2_i$  bewegt. Zudem sind die Polarisationsrichtungen und die ursprünglichen optischen Pfade der von den Laserköpfen  $1_i$  und  $1_k$  emittierten UV-Laserstrahlen parallel ausgerichtet. Daher werden entlang dem gemeinsamen optischen Pfad hinter der polarisierenden Strahlenkombiniervorrichtung 10 gleichzeitig oder abwechselnd eine P-Polarisation  $P_i$  des Laserstrahls  $2_i$  mit der Verteilung  $B_i$  und eine S-Polarisation  $S_k$  des Laserstrahls  $2_k$  mit der Verteilung  $B_k$  erhalten. Dies bedeutet, daß Strahlen mit unterschiedlichen Energiedichten, Leistungsdichten und Punktdurchmessern durch den gemeinsamen Bearbeitungskopf  $Z_i$  und über den gemeinsamen Pfad auf das zu bearbeitende Teil aufgebracht werden können. Überdies können der Laserstrahl  $2_i$  und der Laserstrahl  $2_k$ , wie bei der Ausführungsform 2 der Vorrichtung gemäß Fig. 4, durch Entfernen der Halbwellenplatte 11 und des Eckspiegels 12 aus dem optischen Pfad gleichzeitig und individuell eine Bearbeitung ausführen.

[0110] Werden andererseits die Laserköpfe  $1_i$  und  $2_i$  so angeordnet, daß der elektrische Vektor des Laserstrahls  $2_i$  parallel zum Zeichnungsblatt ausgerichtet ist und der elektrische Vektor des Laserstrahls  $2_k$  senkrecht zum Zeichnungsblatt ausgerichtet ist, werden die Polarisationsrichtungen der Laserstrahlen  $2_i$  und  $2_k$  ohne die Halbwellenplatte 11 jeweils eine P-Polarisierung und eine S-Polarisierung. Daher kann die Halbwellenplatte 11 gemäß Fig. 12 in diesem Fall weggelassen werden.

(Ausführungsform 8 der Bearbeitung)

[0111] Fig. 13a ist eine Darstellung, die die Energieverteilungen von UV-Laserstrahlen und damit einen Ausdehnungsprozeß einer Bohrung in einem RCC-Substrat bei der Ausführungsform 3 der Vorrichtung zeigt. Fig. 13b ist eine Zeitübersicht der Bewegungen von Galvanometerspiegeln und der Laserimpulse für den Prozeß gemäß Fig. 13a.

[0112] Die leitfähige Schicht und fast die gesamte Harzschicht wurden mit dem kombinierten Laserstrahl aus dem Laserstrahl  $21$  mit der Verteilung  $C_i$  und einer zum Entfernen der leitfähigen Schicht und der Harzschicht ausreichenden Energiedichte und dem Laserstrahl  $2_k$  mit der Verteilung  $B_k$  und einer zum Entfernen der Harzschicht ausreichenden, zur Beschädigung der leitfähigen Schicht aber zu geringen Energiedichte entfernt. Eine Restdicke der Harzschicht von 10 µm verblieb auf dem Boden der Bohrung, und dann wurde die Restdicke sukzessive mit dem einzigen Laserstrahl  $2_k$  entfernt. Durch die Auswahl der Restdicke wurden die leitfähige Schicht und die Harzschicht ohne eine Beeinflussung durch eine Veränderung der Dicke der Harzschichten entfernt. Dadurch wurden ohne eine Beschädigung des Bodens der Bohrungen blinde Bohrungen erzeugt, und die gesamte Qualität wurde verbessert. Überdies wurde die Gesamtimpulsperiode von 0,012 Sekunden (25 kHz und 300 Stöße) nach der Positionierung der Galvanometerspiegel nicht aufgrund der gleichzeitigen Bearbeitung mit dem kombinierten Laserstrahl verändert.

(Ausführungsform 9 der Bearbeitung)

[0113] Fig. 14a ist eine Darstellung, die die Energieverteilungen eines UV-Laserstrahls und damit einen Erweiterungsprozeß einer Bohrung in einem Direktharzsubstrat (mit einer Harzdicke von 40 µm) durch die Ausführungsform 3 der Vorrichtung zeigt. Fig. 14b ist eine Zeitübersicht der Bewegungen von Galvanometerspiegeln und der UV-Laserimpulse für den Prozeß gemäß Fig. 14a.

[0114] Fast die gesamte Harzschicht wurde durch den kombinierten Laserstrahl aus dem Laserstrahl  $2_i$  mit der Verteilung  $A_i$  und einer zum Entfernen der Harzschicht ausreichenden Energiedichte und dem Laserstrahl  $2_k$  mit der Verteilung  $B_k$  und einer zum Entfernen der Harzschicht ausreichenden, zur Beschädigung der leitfähigen Schicht jedoch zu geringen Energiedichte entfernt. Eine Restdicke der Harzschicht von 10 µm verblieb auf dem Boden der Bohrung, und dann wurde die Restdicke durch den einzelnen Laserstrahl  $2_k$  sukzessive entfernt. Durch die Auswahl der Restdicke wurde die Harzschicht ohne eine Beeinträchtigung durch eine Veränderung der Dicken der Harzschichten entfernt. Dadurch wurden ohne eine Beschädigung des Bodens der Bohrungen blinde Bohrungen erzeugt, und die Qualität der Bohrungen wurde verbessert. Überdies betrug die gesamte Impulsperiode nach der Positionierung der Galvanometerspiegel aufgrund der gleichzeitigen Bearbeitung mit dem kombinierten Laserstrahl 0,001 Sekunden (40 kHz und 40 Stöße). Die Impulsperiode mit dem einzelnen Laserstrahl  $2_k$  betrug insgesamt 0,002 Sekunden (40 kHz und 80

Stöße).

(Ausführungsform 4 der Vorrichtung)

[0115] Fig. 15 ist ein schematisches Diagramm eines weiteren Laserbearbeitungssystems als vierte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung, wobei die Elemente, die den in den Fig. 4 und 12 gezeigten entsprechen, durch die gleichen Bezugszeichen bezeichnet sind.

[0116] Der Laserkopf  $1_i$  wird so angeordnet, daß der elektrische Vektor des Laserstrahls  $2$  parallel zu dem Zeichnungsblatt ausgerichtet ist, wodurch die Polarisation des Laserstrahls  $2$  eine P-Polarisierung wird. Die Bezugszeichen  $6a$  und  $6b$  bezeichnen entlang dem optischen Pfad des Laserstrahls  $2$  angeordnete akusto-optische Ablenkvorrichtungen. Das Bezugszeichen  $8$  bezeichnet einen Strahlen-Dumper zum Ableiten des Streulichts nullter Ordnung (des übertragenen Lichts).

[0117] Die Energiedichten der Laserstrahlen  $2_i$  und  $2_k$  nehmen aufgrund des Energieverlusts in den akusto-optischen Ablenkvorrichtungen  $6a$  und  $6b$  im Vergleich zu den Laserstrahlen  $2_i$  und  $2_k$  der Ausführungsform 2 der Vorrichtung gemäß Fig. 4 um ca. 15% ab. Da jedoch die charakteristischen Eigenschaften, wie die räumliche Energieverteilung, nicht verändert werden, kann durch Einstellen des Ausgangs des Laserkopfs im wesentlichen die gleiche Bearbeitungsfähigkeit wie bei der Ausführungsform 2 der Vorrichtung gemäß Fig. 4 erzielt werden.

(Ausführungsform 10 der Bearbeitung)

[0118] Bei der Bearbeitung eines Glas enthaltenden Substrats durch die Vorrichtung gemäß der vierten Ausführungsform wurden die folgenden Schritte verwendet. Zunächst wurde durch den Laserstrahl  $2_i$  mit der Verteilung  $C_i$  und einer zur Entfernung der leitfähigen Schicht ausreichenden Energiedichte die äußere, leitfähige Schicht entfernt, dann wurde durch den Laserstrahl  $2_j$  mit der Verteilung  $A_j$  die Harzschicht entfernt, und danach wurde durch den Laserstrahl  $2_k$  mit der Verteilung  $B_k$  die restliche Rückstandsschicht auf dem Boden der Bohrung entfernt, um eine blinde Durchgangsbohrung zu erzeugen. Bei dieser Ausführungsform betrug die längste Gesamtimpulsperiode nach der Positionierung der Galvanometerspiegel bei der Entfernung der leitfähigen Schicht 0,0012 Sekunden. Die Gesamtimpulsperiode zur Entfernung der Harzschicht betrug 0,003 Sekunden, und die Gesamtimpulsperiode zur Entfernung der Rückstandsschicht betrug 0,0004 Sekunden. Daher wurde die Entfernung der Rückstandsschicht während der Bewegung der Galvanometerspiegel für die Entfernung der leitfähigen Schicht ausgeführt, so daß die Bearbeitungsdauer im wesentlichen im Vergleich zu der zweiten Ausführungsform der Vorrichtung gemäß Fig. 4 nicht gesteigert wurde. Dadurch arbeitet nur ein Laserkopf  $1_i$  als Laserköpfe  $1_i$  und  $1_k$  gemäß Fig. 4, wodurch die Kosten für die Vorrichtung verringert werden können.

(Ausführungsform 5 der Vorrichtung)

[0119] Fig. 16 ist ein schematisches Diagramm eines weiteren Laserbearbeitungssystems als fünfte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, wobei die Elemente, die den in den Fig. 4, 12 und 15 gezeigten entsprechen, durch die gleichen Bezugszeichen bezeichnet sind.

[0120] Zusätzlich zur vierten Ausführungsform der Vorrichtung sind eine Halbwellenplatte  $11$ , ein Eckspiegel  $12$  und eine polarisierende Strahlenkombiniervorrichtung  $10$  vorgesehen, um die Laserstrahlen  $2_i$  und  $2_k$  koaxial auf den

Bearbeitungsbereich zu leiten.

[0121] Durch das Entfernen der Halbwellenplatte  $11$  und des Eckspiegels  $12$  aus dem optischen Pfad des Laserstrahls  $2_k$  werden die Laserstrahlen  $2_i$  und  $2_k$  (gestrichelte Linie) individuell verwendet, um eine Bearbeitung auszuführen, wie bei der vierten Ausführungsform der Vorrichtung.

(Ausführungsform 11 der Bearbeitung)

[0122] Die Bearbeitung eines Direktharzsubstrats (die Dicke der Harzschicht betrug  $40\text{ }\mu\text{m}$ ) mit der Ausführungsform 5 der Vorrichtung erfolgte auf die gleiche Weise wie mit der Ausführungsform 3 der Vorrichtung. Dadurch wurde die Qualität der Bohrungen wie durch die Ausführungsform 3 der Vorrichtung verbessert. Überdies wurde die Gesamtimpulsperiode durch eine Steigerung des Ausgangs des Laserkopfs trotz der Abgabe der Laserstrahlen  $2_i$  und  $2_k$  in jeweiligen Perioden nach der Positionierung der Galvanometerspiegel auf 0,001 Sekunden ( $40\text{ kHz}$  und  $40$  Stößen) gehalten.

[0123] Die Funktionsweise der Laserstrahlbearbeitungsvorrichtung entspricht der der dritten Ausführungsform der Vorrichtung, wenn die Halbwellenplatte  $11$  und der Eckspiegel  $12$  aus dem optischen Pfad entfernt werden. Dadurch können die Funktionen der dritten Ausführungsform der Vorrichtung mit einem einzigen Laserkopf erzielt werden. Dadurch können die Kosten für die Vorrichtung verringert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung einer blinden Bohrung zum Freilegen einer inneren, leitfähigen Schicht einer geschichteten, gedruckten Verdrahtungsplatte aus einer Schicht oder Schichten aus einem Leiter und einer Schicht oder Schichten aus Harz, die abwechselnd angeordnet sind, das umfaßt:

Aufbringen eines ersten UV-Laserstrahls und/oder eines Infrarotlaserstrahls zum Bohren der Bohrung, bis die Restschicht der mit der inneren, leitfähigen Schicht in Kontakt stehenden Harzschicht erreicht ist, und Aufbringen eines zweiten UV-Laserstrahls mit einer Energiedichte, die höher als der Schwellenwert der Zerfallsenergie der Harzschicht und niedriger als der Schwellenwert der Zerfallsenergie der inneren, leitfähigen Schicht ist, zum Entfernen der Restschicht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der erste UV-Laserstrahl, der eine haubenförmige räumliche Energieverteilung und eine Energiedichte aufweist, die höher als die Schwellenwerte der Zerfallsenergie der leitfähigen und der Harzschichten ist, zur Bearbeitung verwendet wird, bis die Restschicht der Harzschicht erreicht ist, die mit der inneren, leitfähigen Schicht in Kontakt steht.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem die erste Oberflächenschicht der gedruckten Verdrahtungsplatte eine Harzschicht ist und der zweite UV-Laserstrahl eine haubenförmige räumliche Energieverteilung und den gleichen Strahlendurchmesser wie die durch den ersten Laserstrahl erzeugte Bohrung aufweist.

4. Vorrichtung zur Laserbearbeitung einer gedruckten Verdrahtungsplatte mit:  
einem Laserkopf,  
einer optischen Ablenkvorrichtung zum Umschalten der optischen Pfade des von dem Laserkopf emittierten Laserstrahls,  
entlang den optischen Pfaden angeordneten optischen Elementen zum individuellen Einstellen der Energie-

dichten, der räumlichen Energieverteilungen und der Strahlendurchmesser der Laserstrahlen und einem gemeinsamen optischen Pfad für Laserstrahlen, die sich nach ihrer Einstellung weiterbewegen.

5. Verfahren zur Verwendung der Vorrichtung nach Anspruch 4, das umfaßt:

Erzeugung eines ersten UV-Laserstrahls durch Ablenken eines von dem UV-Laserkopf emittierten Laserstrahls mit der optischen Ablenkvorrichtung, Einstellung des ersten UV-Laserstrahls auf eine hohe Energiedichte durch Kondensation durch die optischen Elemente,

Erzeugung eines zweiten UV-Laserstrahls durch Übertragen eines von dem UV-Laserkopf emittierten Laserstrahls durch die optische Ablenkvorrichtung, Einstellung des zweiten UV-Laserstrahls auf eine niedrige Energiedichte durch Ausdehnung durch die optischen Elemente und

Bewegung entlang dem gemeinsamen optischen Pfad für die Laserstrahlen nach der Einstellung dieser Parameter.

6. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem eine Schicht oder Schichten des Leiters durch den ersten UV-Laserstrahl entfernt werden, der eine höhere Energiedichte als die Zerfallsenergiedichte des Leiters aufweist, eine Schicht oder Schichten aus Harz durch den Infrarotlaserstrahl entfernt werden und die Prozeduren wiederholt werden, bis die Restschicht der Harzschicht erreicht ist, die mit der inneren, leitfähigen Schicht in Kontakt steht.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem der erste und der zweite UV-Laserstrahl aus einem UV-Laserkopf erhalten werden und die Energiedichten, die räumlichen Energieverteilungen, die Strahlendurchmesser der Laserstrahlen individuell und jeweils zum Entfernen einer leitfähigen Schicht und der Restschicht geeignet eingestellt werden.

8. Vorrichtung zur Laserbearbeitung einer gedruckten Leiterplatte mit: einem Laserkopf,

wobei ein erster und ein zweiter Laserstrahl durch Umschalten optischer Pfade für den von dem Laserkopf emittierten Laserstrahl erhalten werden, einem weiteren Laserkopf, entlang den optischen Pfaden angeordneten optischen Elementen zur individuellen Einstellung der Energiedichten, der räumlichen Energieverteilungen und der Strahlendurchmesser.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, bei der eine optische Ablenkvorrichtung zum Schalten des ersten und des zweiten Laserstrahls vorgesehen ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 8, bei der ein gemeinsamer optischer Pfad für den ersten und den zweiten Laserstrahl vorgesehen ist, die sich nach der Einstellung der Energiedichten, der räumlichen Energieverteilungen und der Strahlendurchmesser weiterbewegen.

---

Hierzu 18 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

FIG. 1

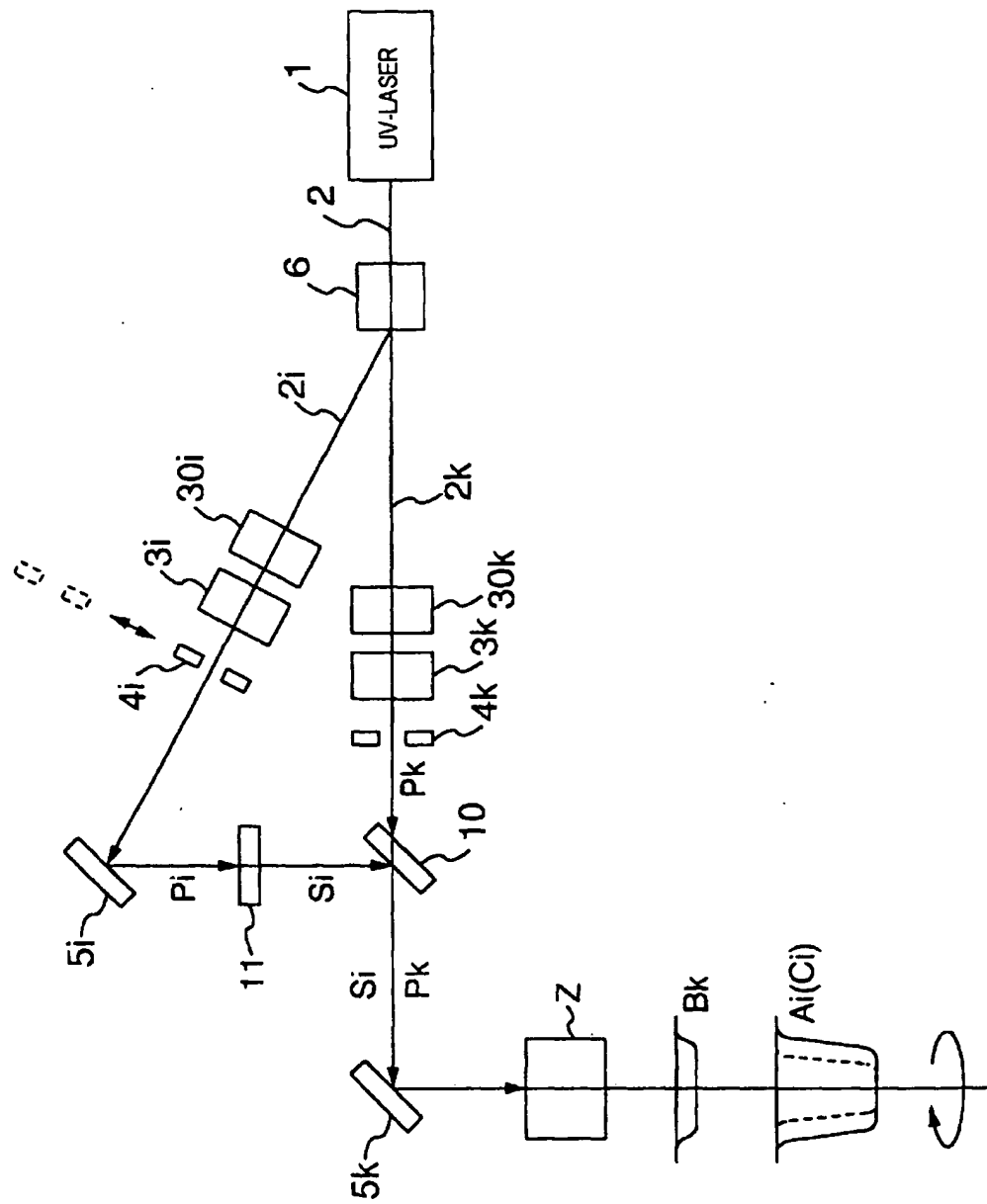




FIG. 2a

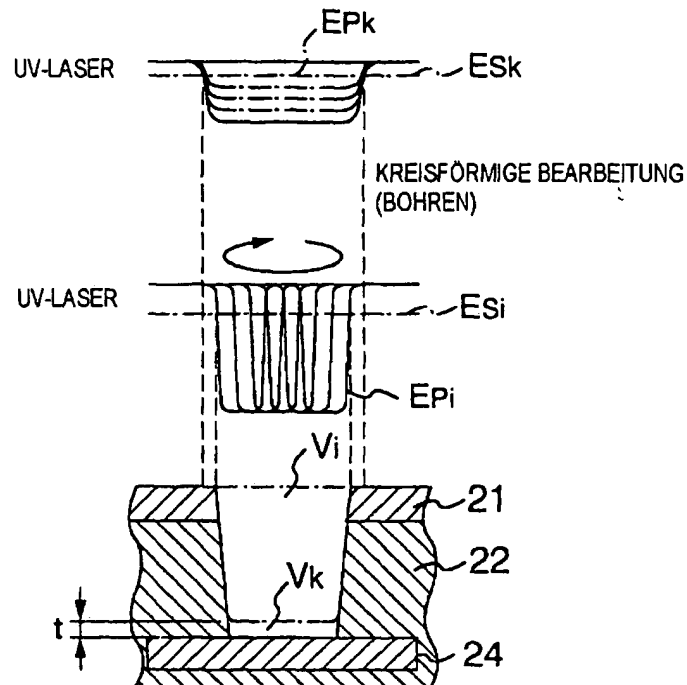


FIG. 2b

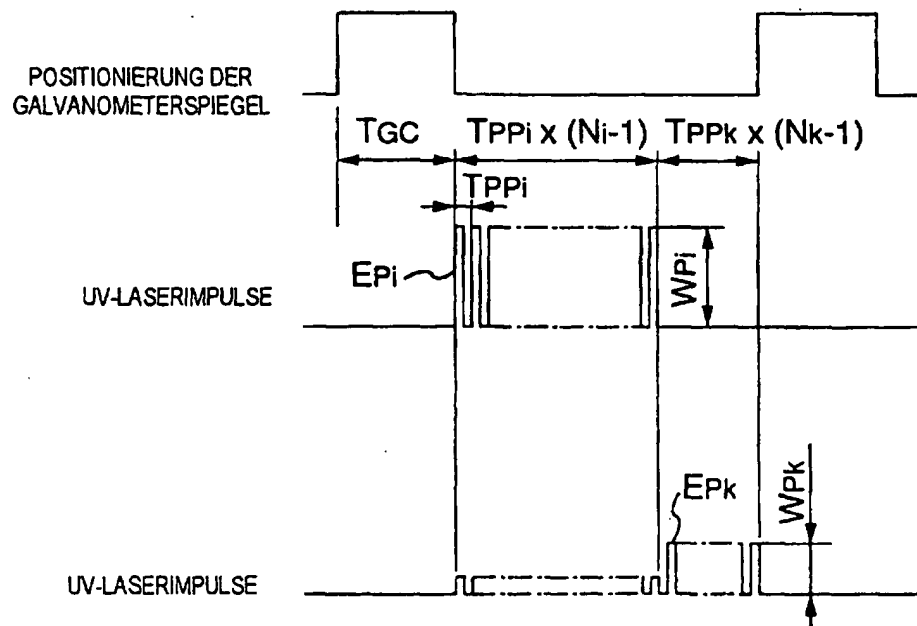


FIG. 3a

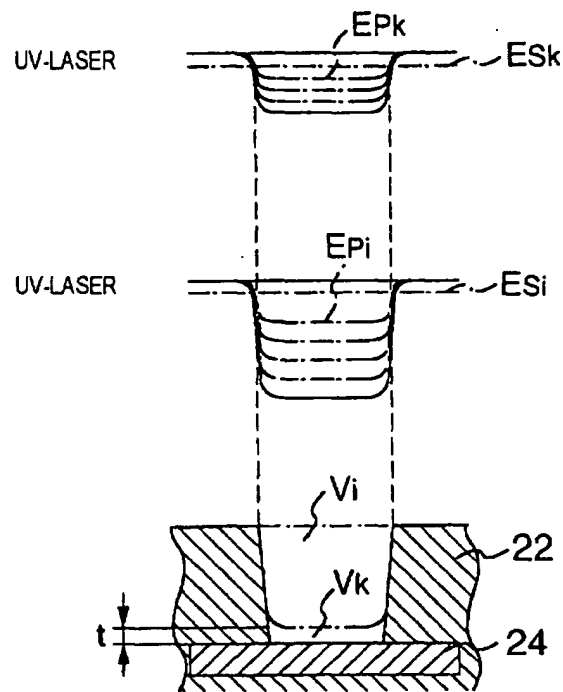
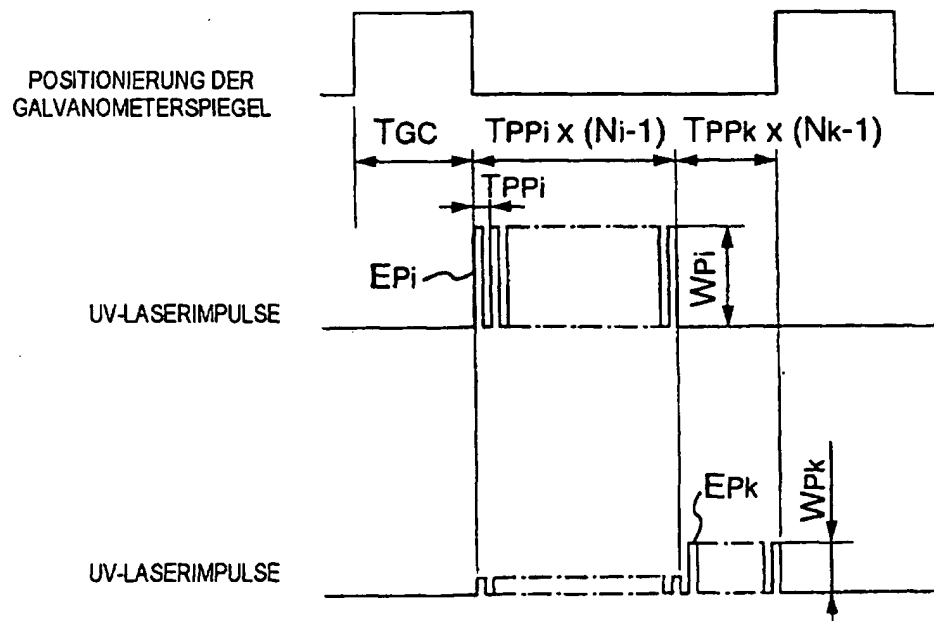


FIG. 3b



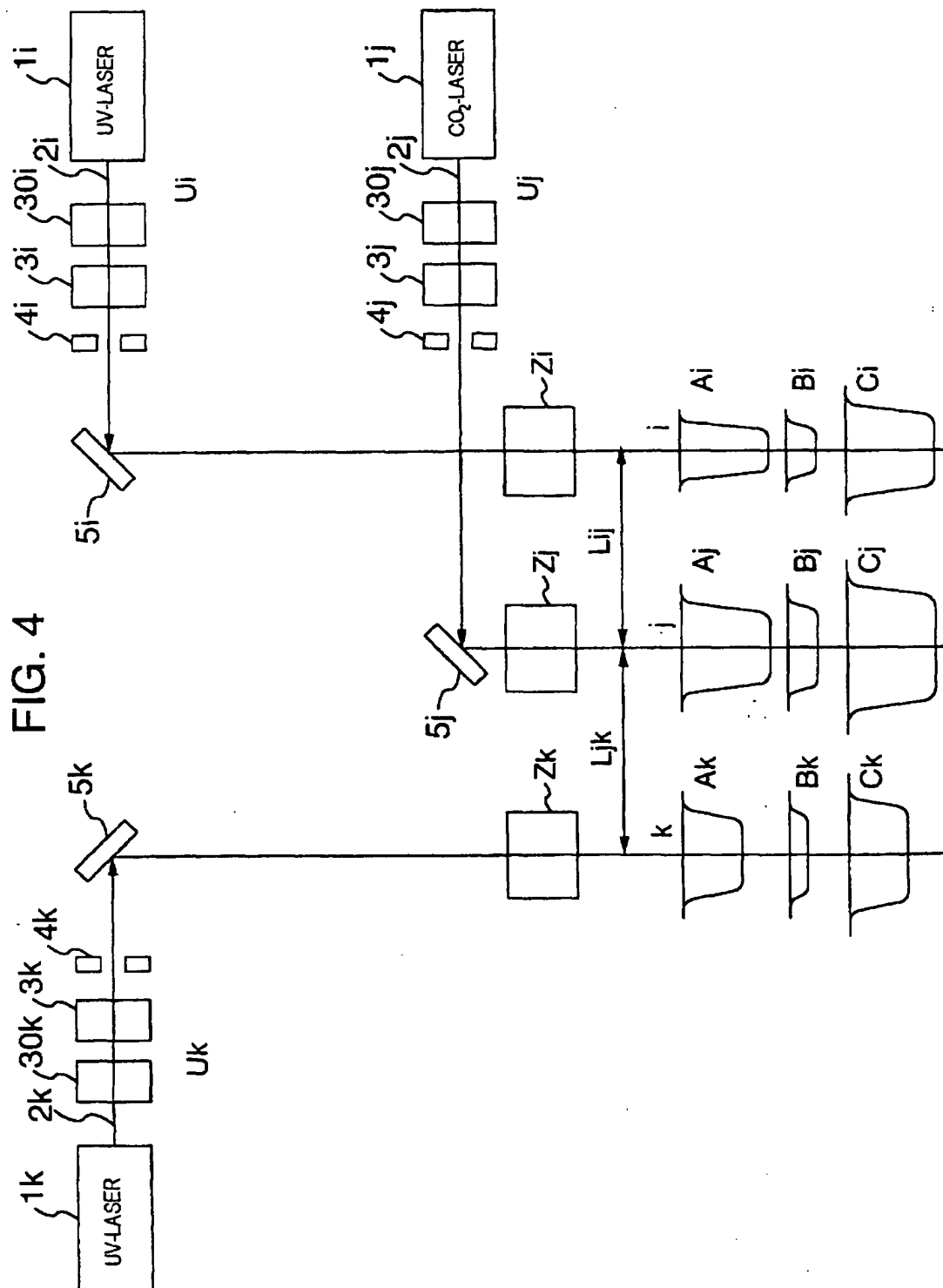


FIG. 5a

KREISFÖRMIGE VERARBEITUNG (BOHREN)

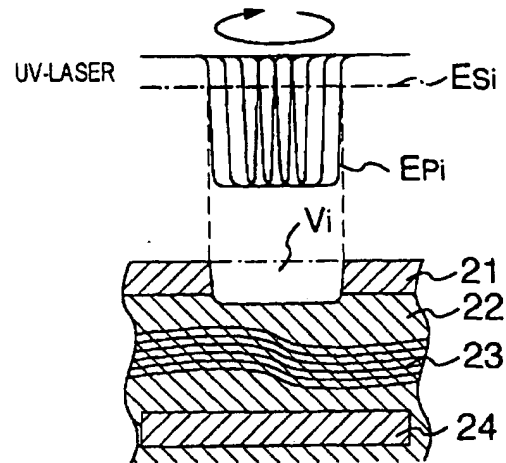


FIG. 5b

BEARBEITUNG DURCH WIEDERHOLTE IMPULSE (BOHREN)

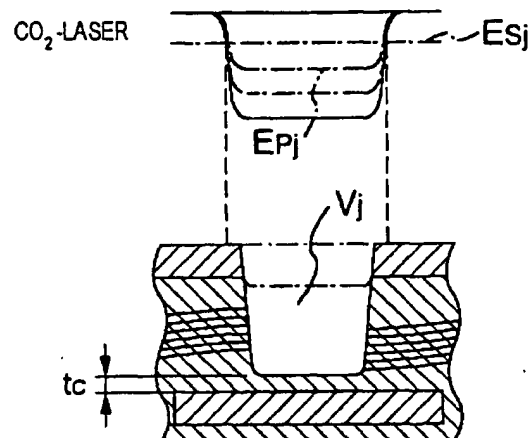


FIG. 5c

BEARBEITUNG DURCH WIEDERHOLTE IMPULSE (BOHREN)

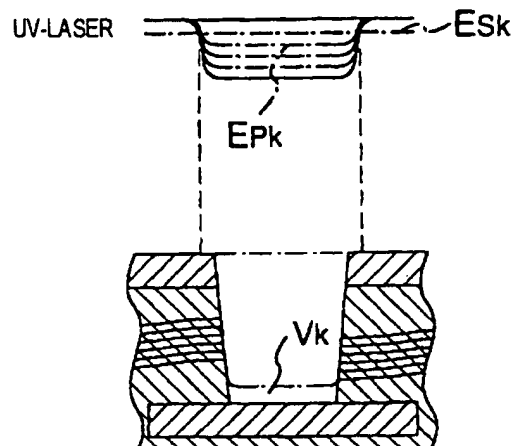


FIG. 6a

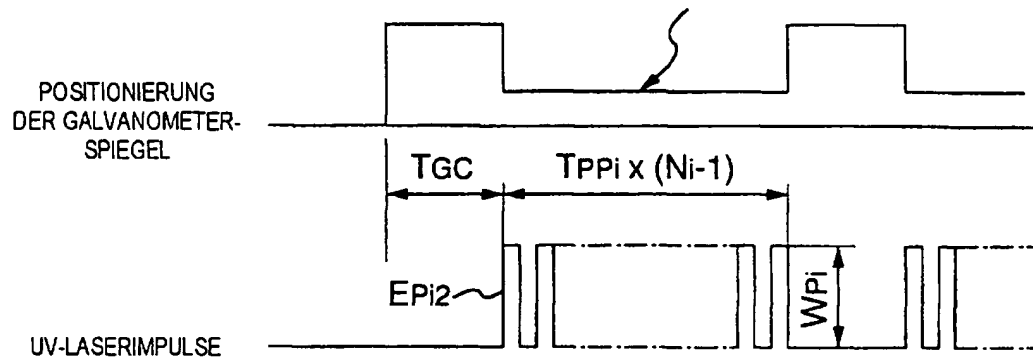


FIG. 6b

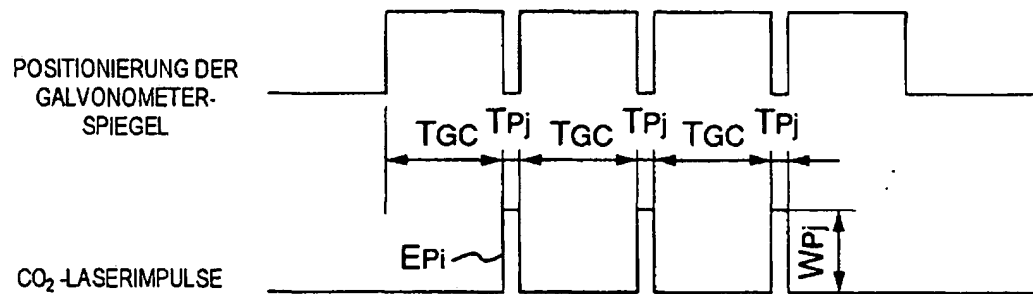


FIG. 6c

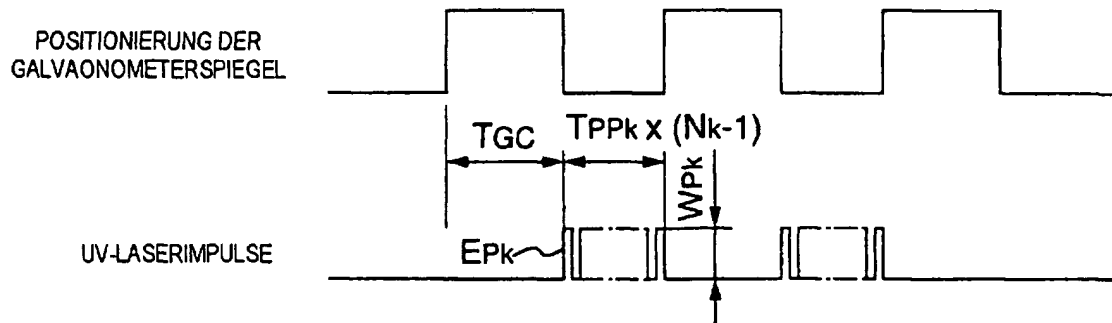


FIG. 7a

KREISFÖRMIGE BEARBEITUNG (BOHREN)

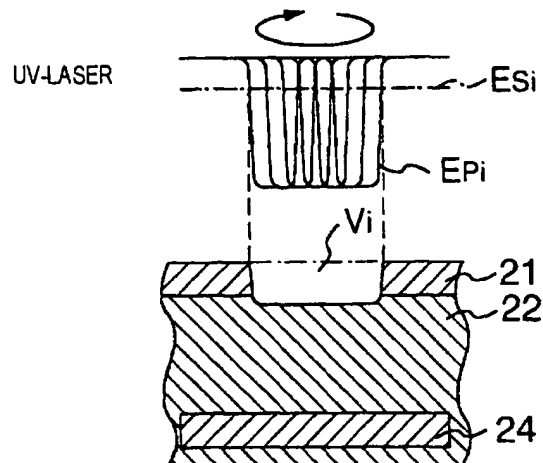


FIG. 7b

BEARBEITUNG DURCH WIEDERHOLTE IMPULSE (BOHREN)

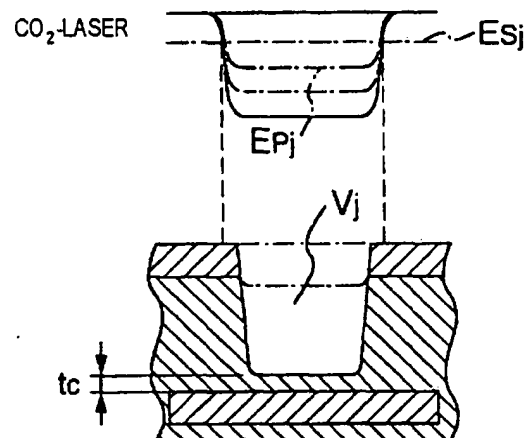


FIG. 7c

BEARBEITUNG DURCH WIEDERHOLTE IMPULSE (BOHREN)

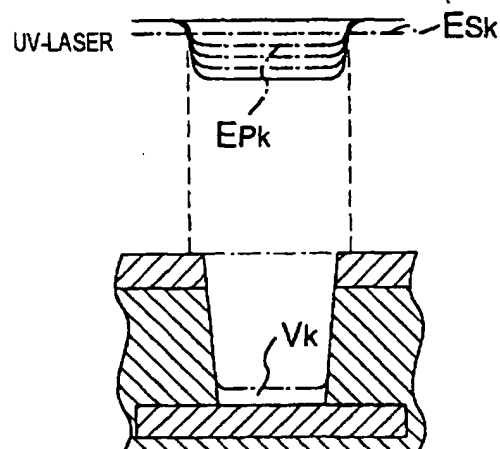


FIG. 8a

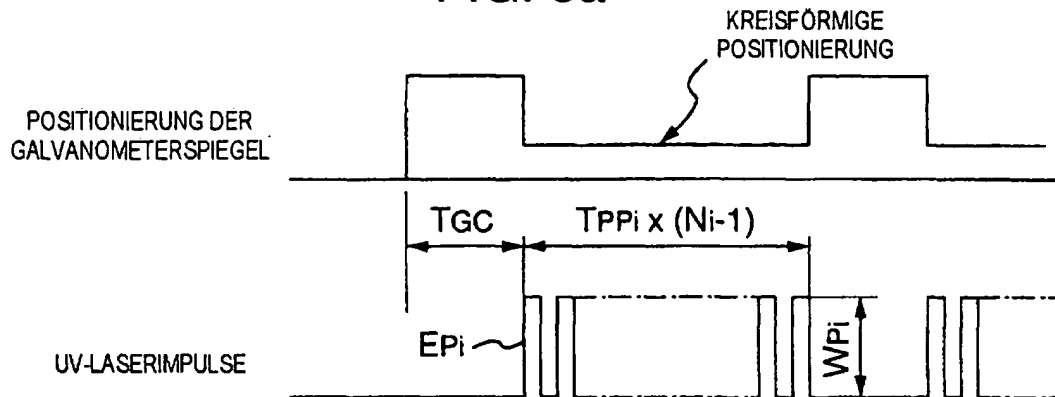


FIG. 8b

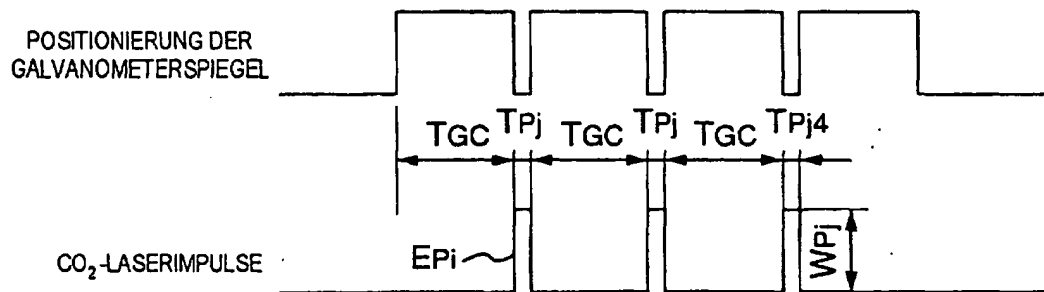


FIG. 8c

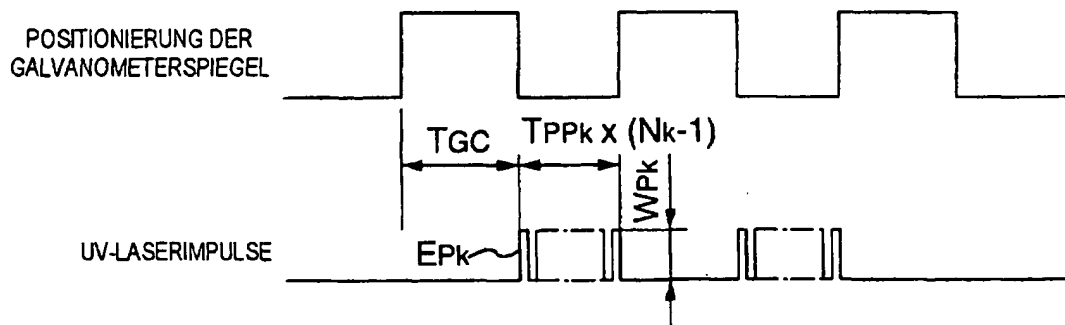


FIG. 9a

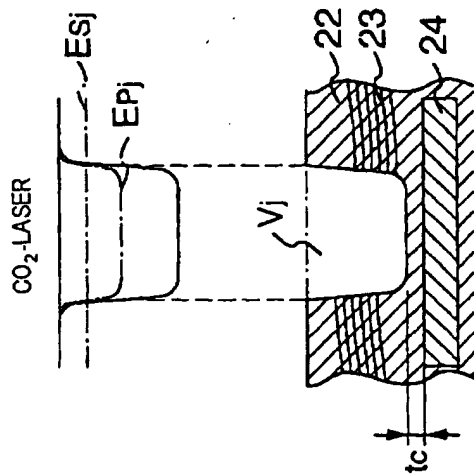


FIG. 9b

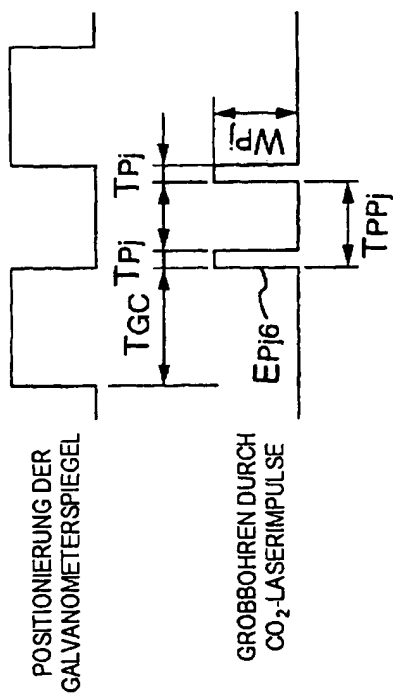


FIG. 9c

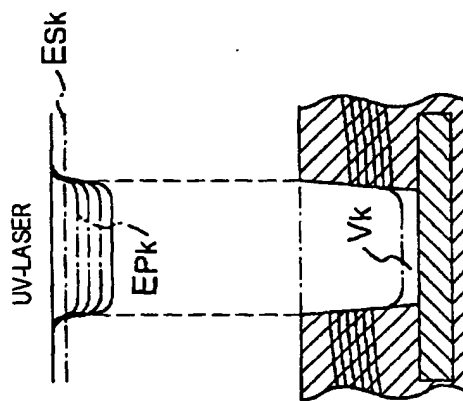


FIG. 9d

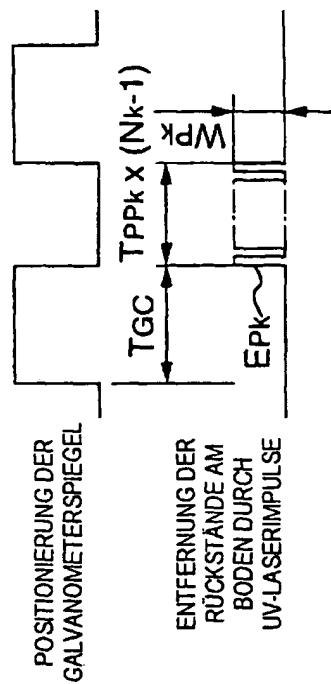




FIG. 10a

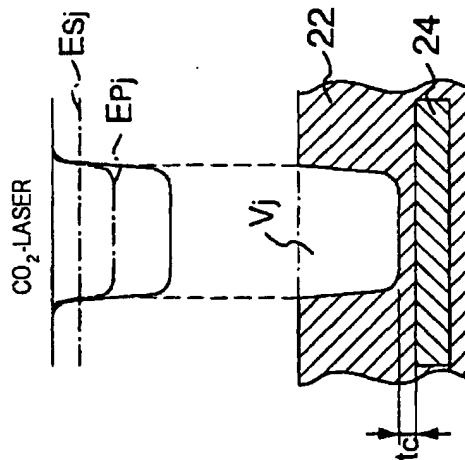
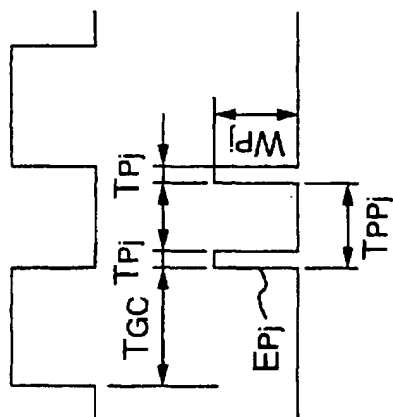


FIG. 10b



POSITIONIERUNG DER  
GALVANOMETERSPIEGEL

GROBBOHREN MIT  
CO<sub>2</sub>-LASERIMPULSEN

FIG. 10c

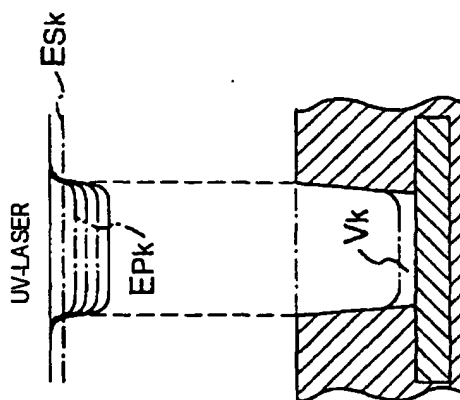
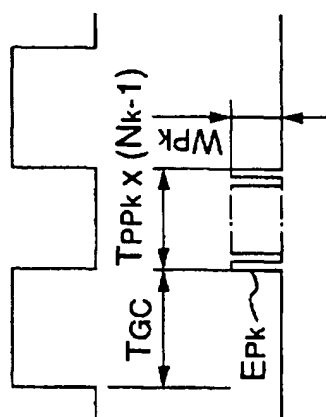


FIG. 10d



POSITIONIERUNG DER  
GALVANOMETERSPIEGEL

ENTFERNUNG DER  
RÜCKSTÄNDE AM BODEN  
DURCH UV-LASERIMPULSE

FIG. 11a

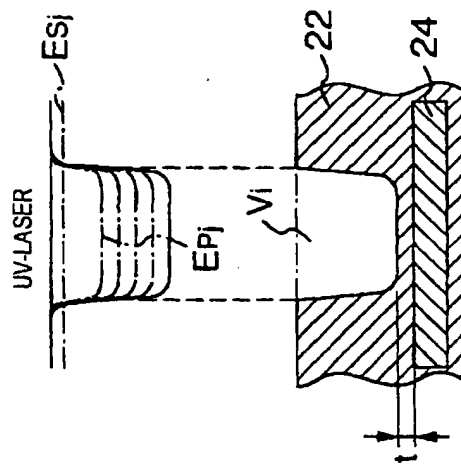


FIG. 11c

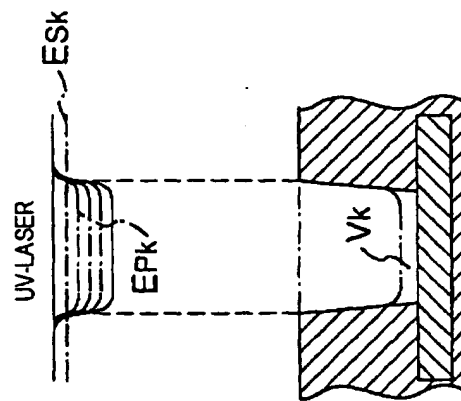


FIG. 11b

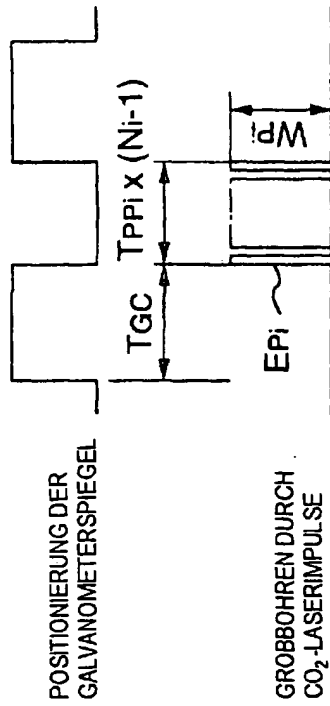


FIG. 11d

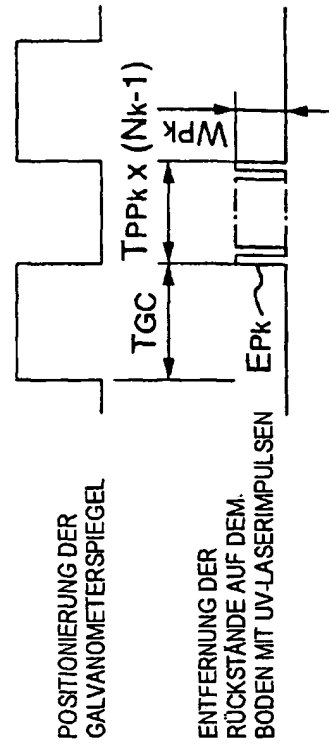


FIG. 12

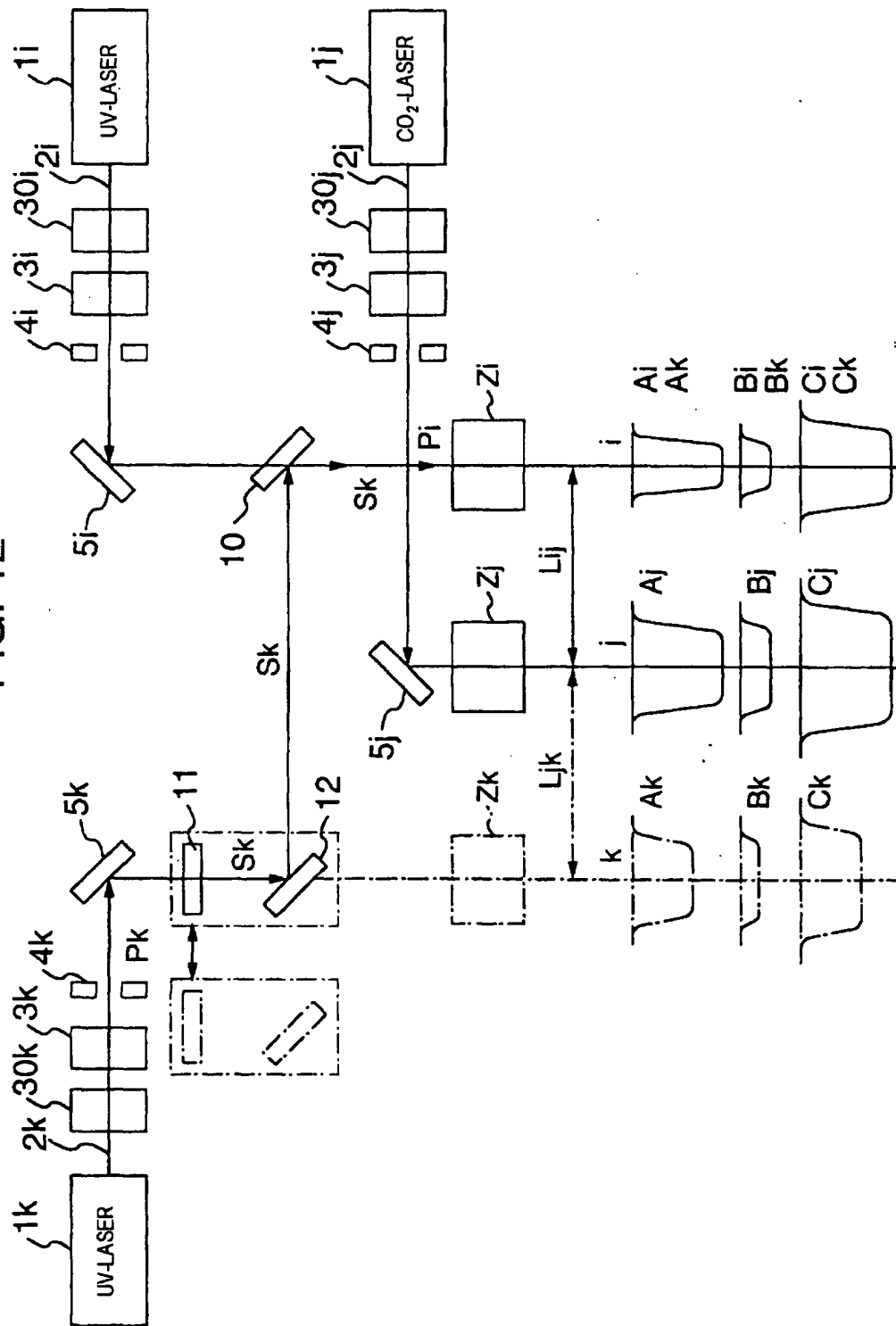


FIG. 13a

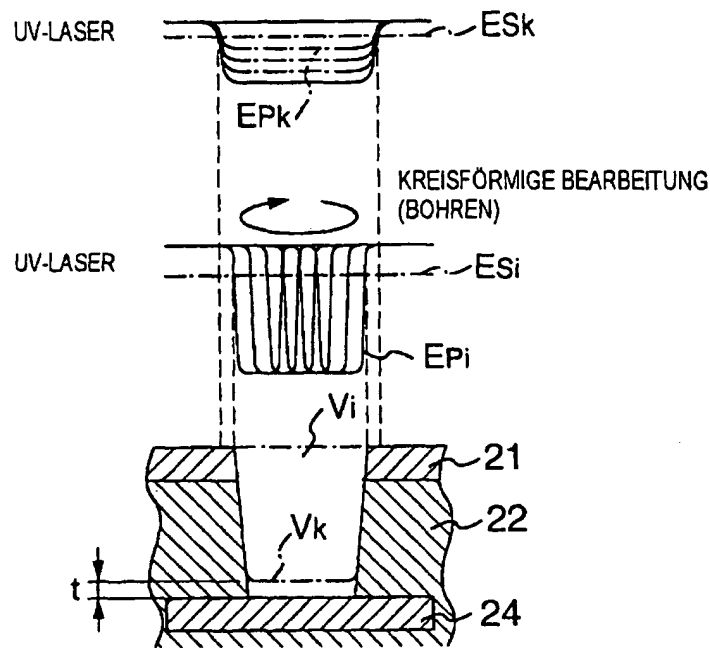


FIG. 13b

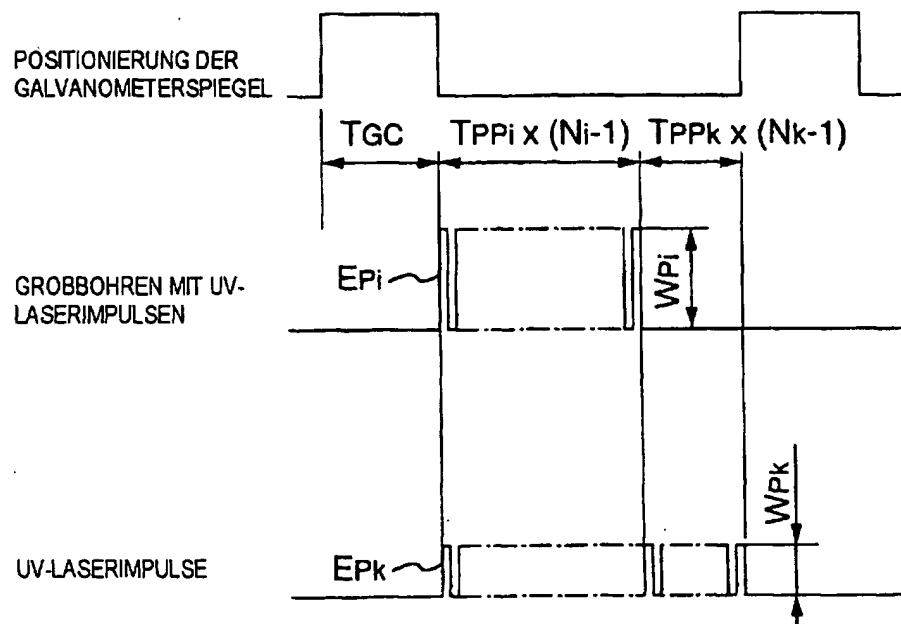


FIG. 14a

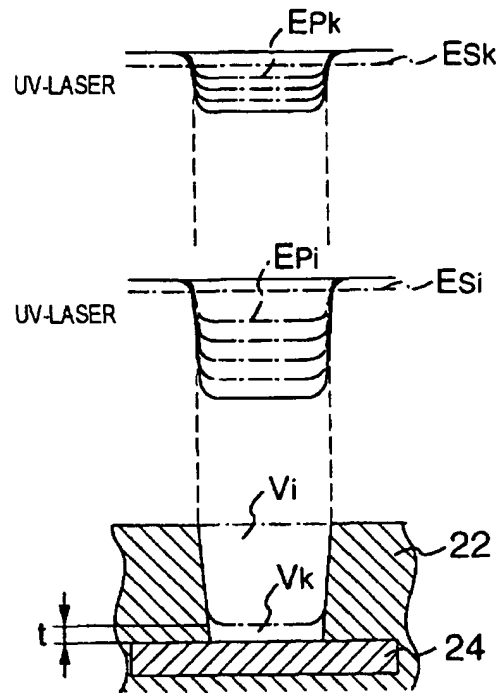


FIG. 14b

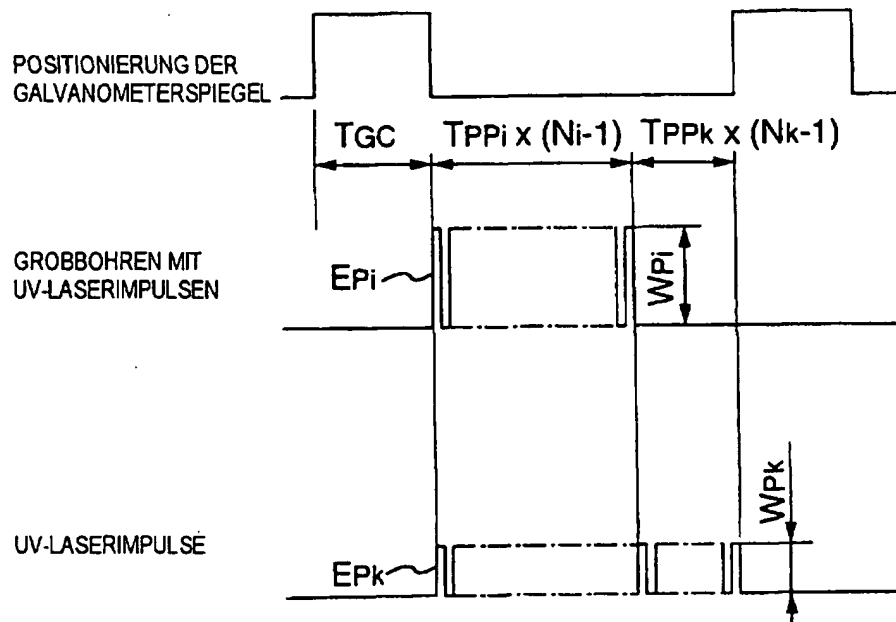


FIG. 15

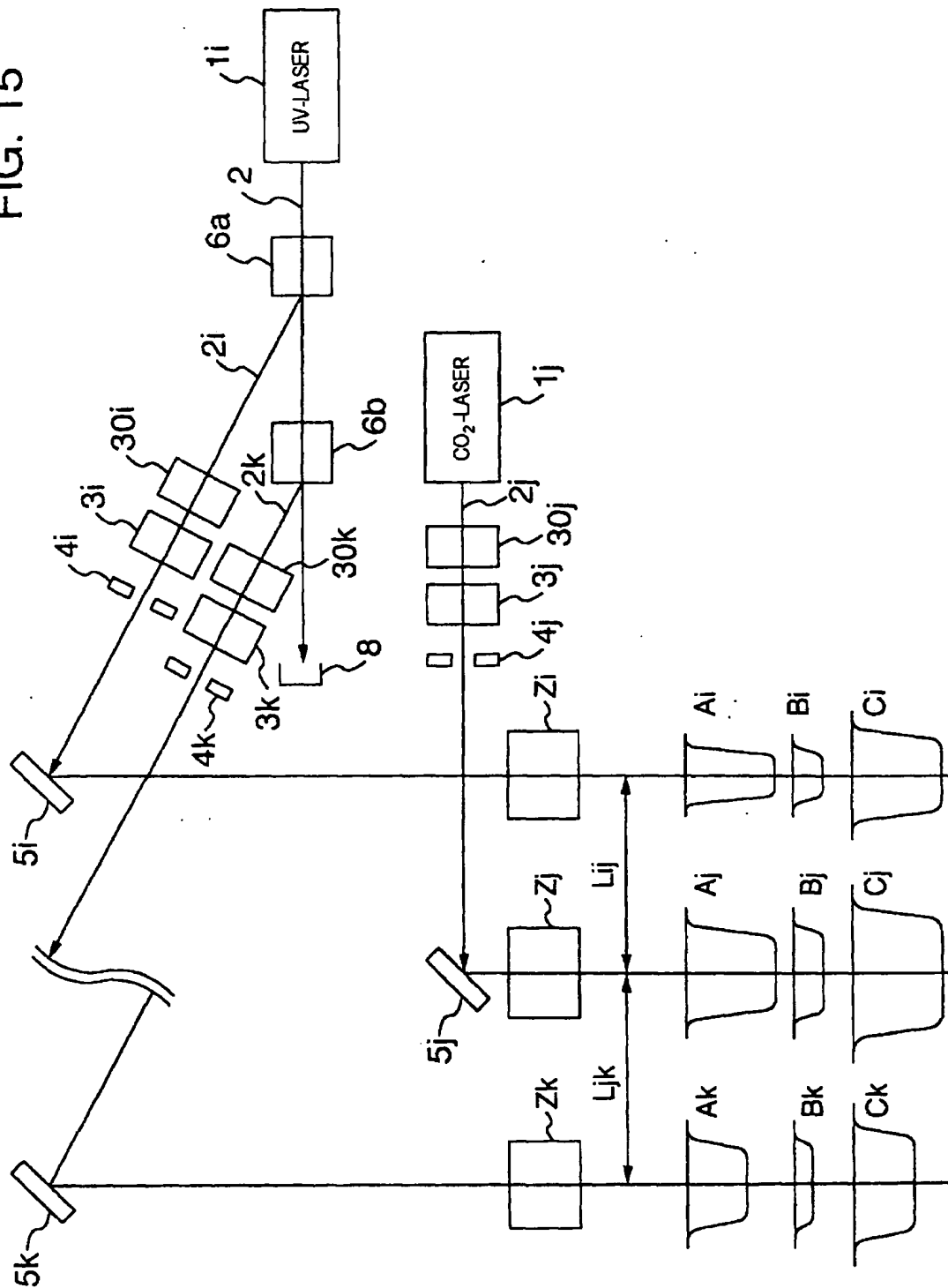


FIG. 16

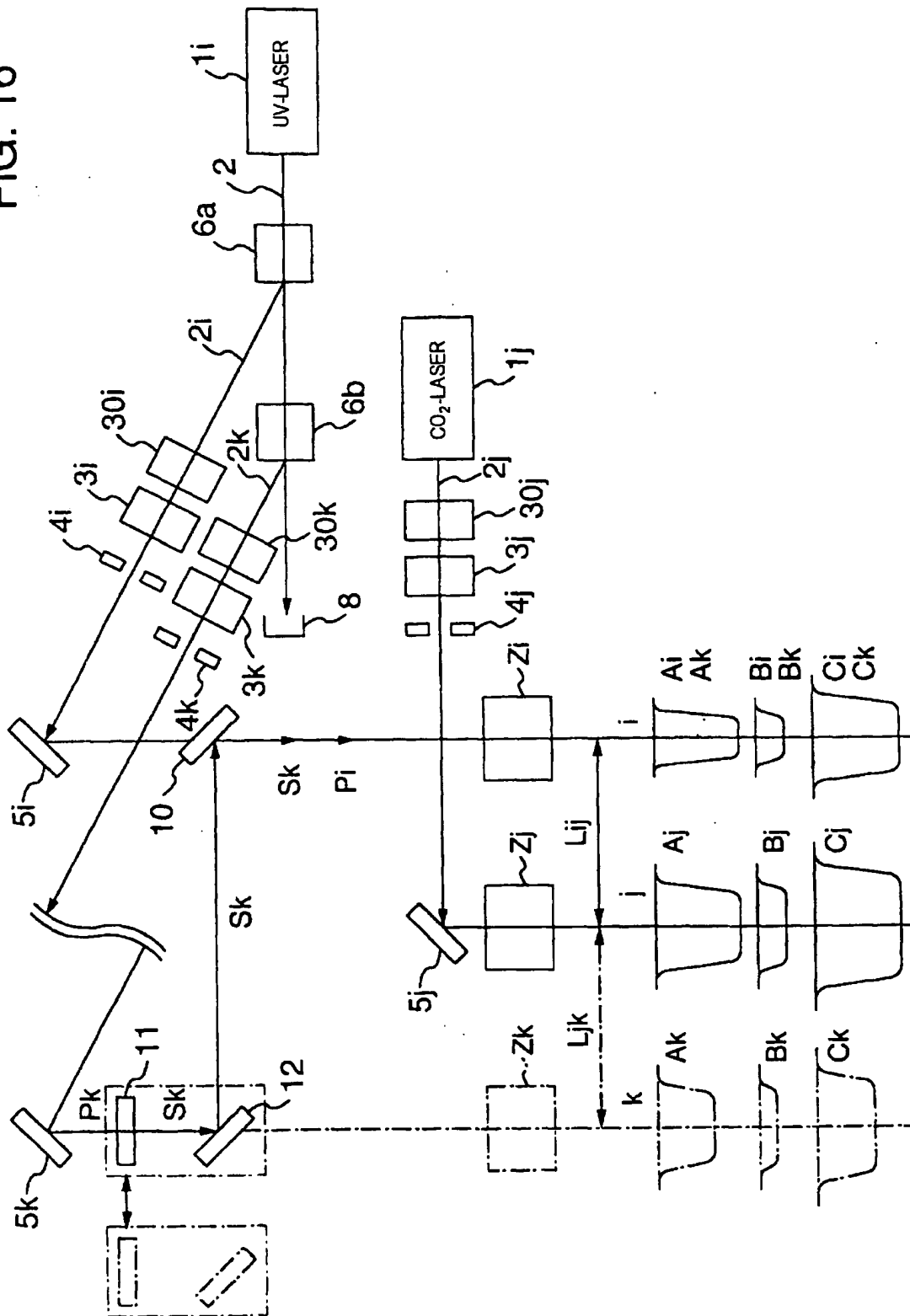


FIG. 17  
(STAND DER TECHNIK)

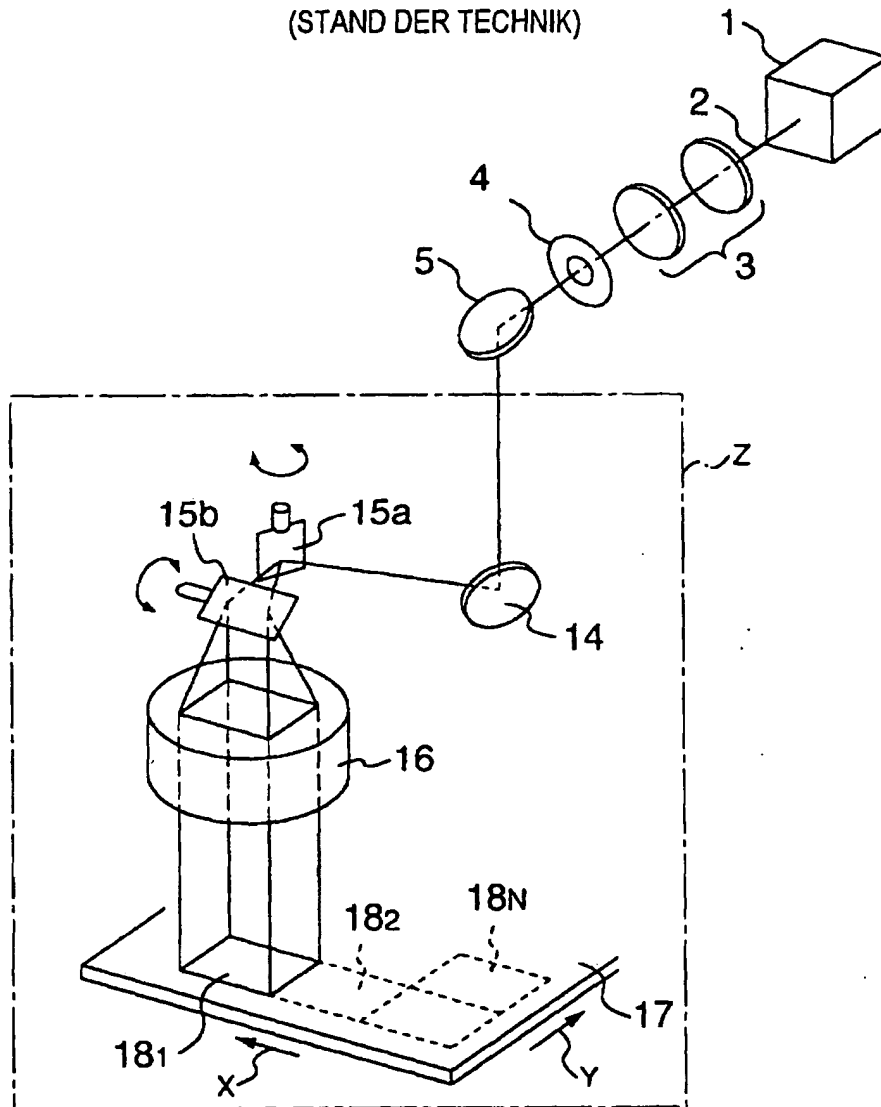




FIG. 18a

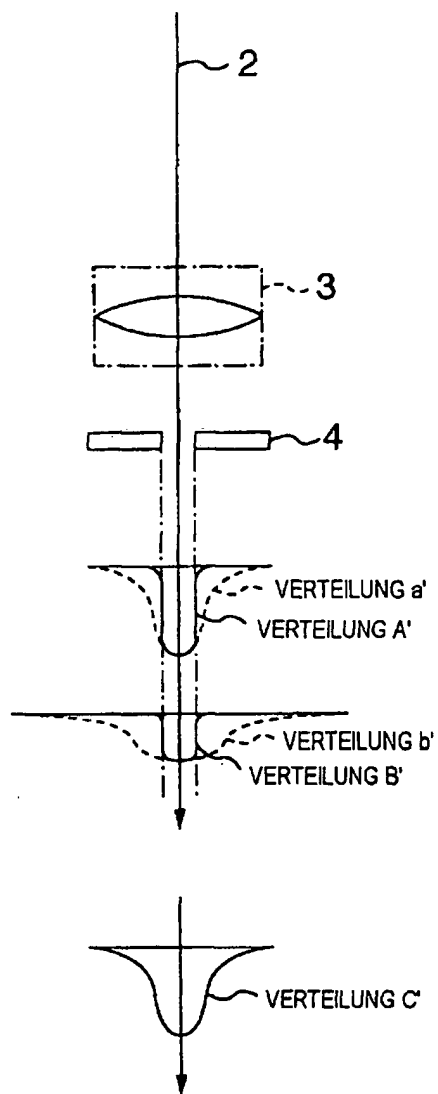


FIG. 18b

